



ESK-Workshop zur deutschen Endlagerforschung

Das Forschungsprogramm zu Tongesteinen in der Schweiz:

Aktueller Stand, zukünftiger Forschungsbedarf und
Mechanismen der Forschungskontrolle
(Schwerpunkt HAA-Lager)

20./21. Januar 2015

Piet Zuidema

nagra.

Forschung & Entwicklung: Die Themen

- Forschung & Entwicklung: Definition & Abgrenzung
- das System: die geologischen Tiefenlager
- schrittweises Vorgehen: Phasen & Meilensteine / Entscheidungspunkte bei der Realisierung der geologischen Tiefenlager (*stepwise approach*)
- Forschungskontrolle: periodischer externer Review & Beurteilung
- operationelle Umsetzung, wichtige Forschungsplattformen
- Forschung & Entwicklung: Stand und Themen (heutige Sicht; gegenwärtig in Überarbeitung für aktualisiertes Entsorgungsprogramm)

Definition & Abgrenzung

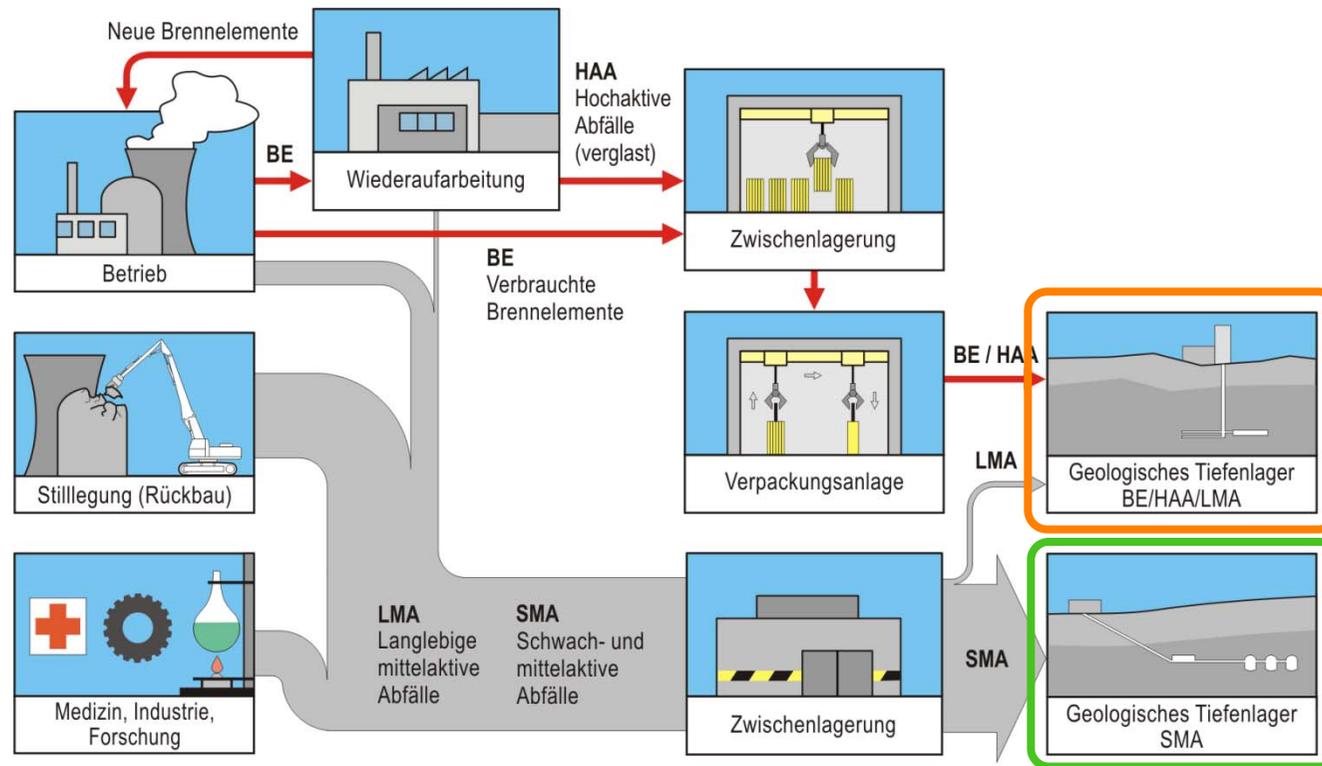
Forschung & Entwicklung: Definition & Abgrenzung

- Forschung & Entwicklung → Englisch: RD+D
- RD+D ...
 - Research (Forschung: Verbesserung Verständnis)
 - Development (Entwicklung: Methoden, Datensätze, Komponenten)
 - Demonstration (Erprobung/Bestätigung mit 'Prototypen' & Versuchen)
- ... und andere technische Arbeiten
 - Aktivitäten, basierend auf gut etablierten Methoden und Abläufen (*state-of-the-art*), z.B. Bohrungen, Seismik, Standard-Versuche, etc.
- aber: Abgrenzung teilweise nicht eindeutig bzw. schwierig
- deshalb: gesamtheitlicher Blick
 - Forschung & Entwicklung (RD+D):
 - länger laufende Aktivitäten (Langzeitexperimente, Langzeitbeobachtungen, ...), erfordert Flexibilität (neue Erkenntnisse, sonstige Änderungen)
 - auf spezifische Meilensteine ausgerichtete Aktivitäten
 - Meilensteinberichte: auf spezifische Zielsetzung ausgerichtet, nutzt (Zwischen)auswertung aus RD+D-Projekten
 - P.S: Schwerpunkt der Forschung ändert sich mit Fortschritt des Programms → ändernde Prioritäten (zu beachten bei Vergleichen)



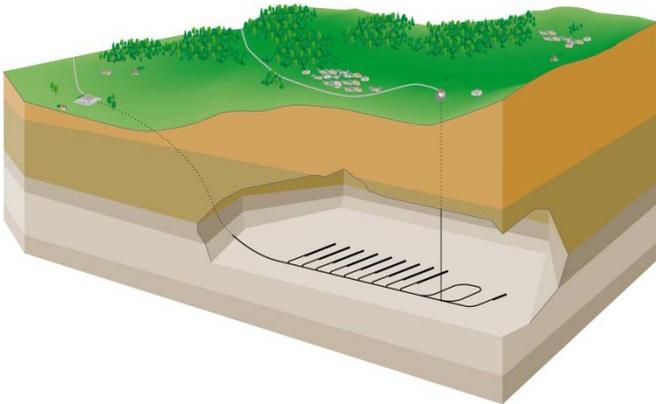
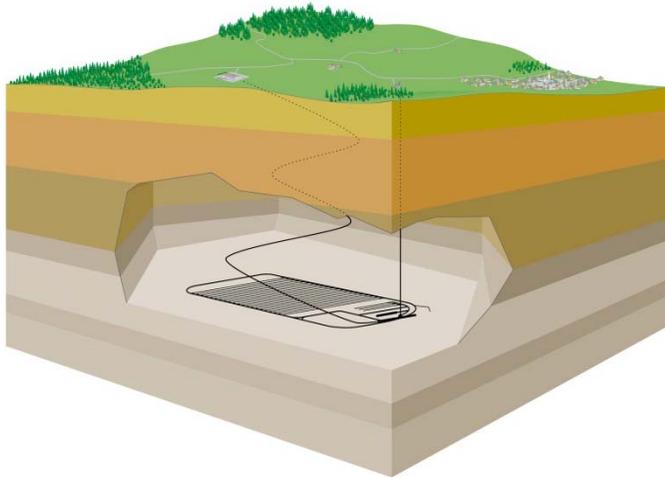
Das System: die Tiefenlager und ihre wichtigsten Charakteristika

Konzept zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle

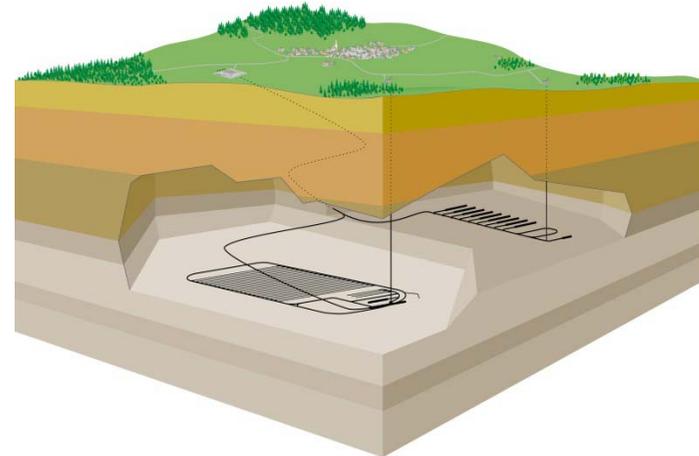


- Abgebrannte Brennelemente (BE), verglaste hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung (HAA) → **HAA-Lager**
- Langlebige mittelaktive Abfälle (LMA) → **HAA-Lager**
- Schwach- und mittelaktive Abfälle → **SMA-Lager**

Zwei Lagertypen vorgesehen



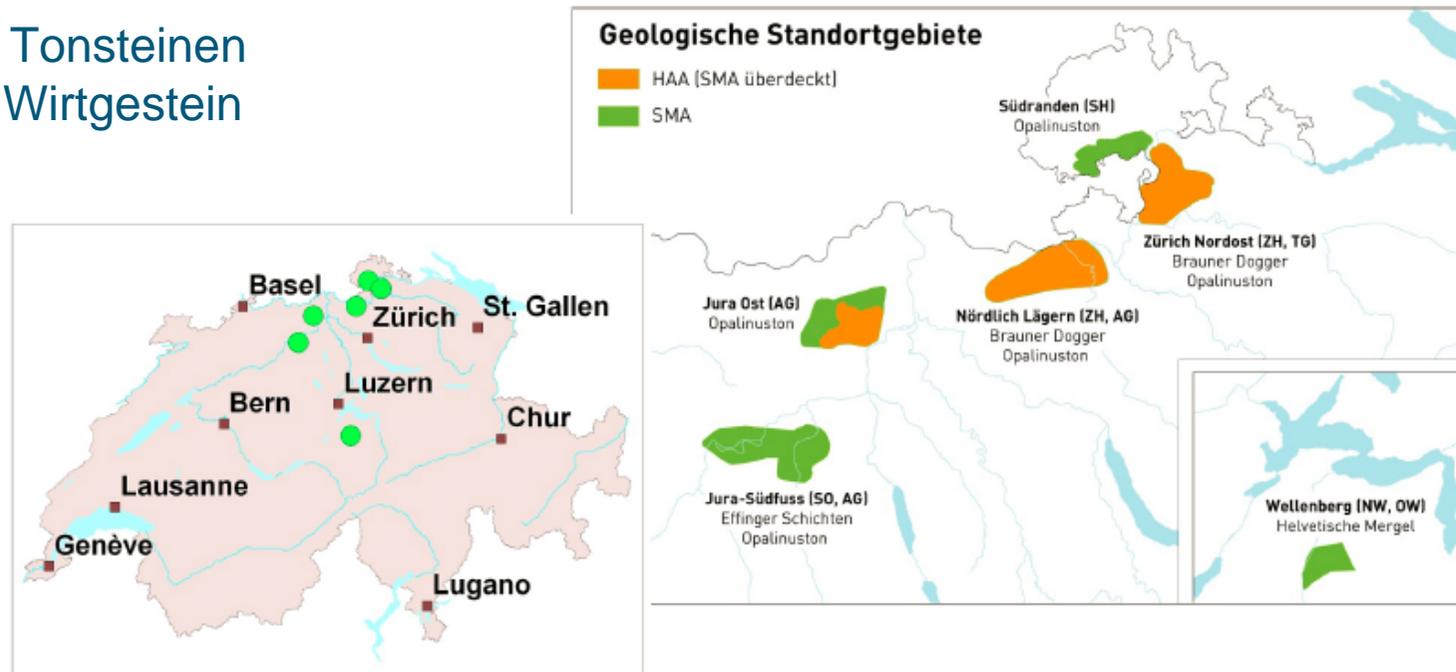
- **Lager für hochaktive Abfälle** (BE, HAA, LMA); Betrachtungszeitraum: 1 Mio. a
- **Lager für schwach- und mittelaktive Abfälle** (SMA); Betrachtungszeitraum: 100'000 a
- **Option 'Kombilager'** offen (beide Lager am gleichen Standort; Lagerkammern räumlich getrennt)



P.S.: Notwendigkeit der Überwachung & Möglichkeit der Rückholung für beschränkte Zeit

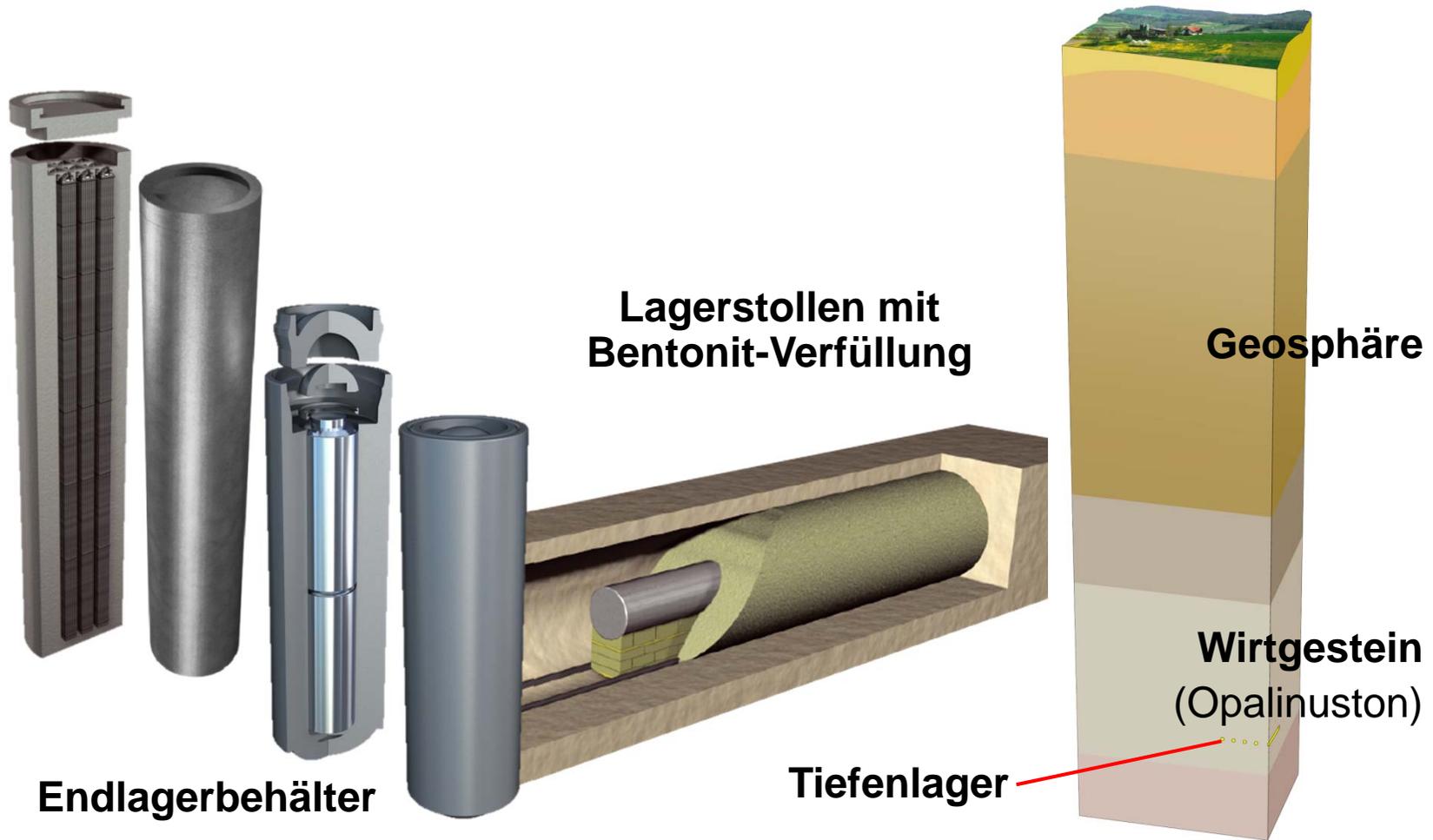
geologische Standortgebiete gemäss SGT-Etappe 1

... mit Tonsteinen
als Wirtgestein



- ... sind Resultat einer systematischen, auf die Sicherheit orientierten Einengung ausgehend von einer 'weissen Karte Schweiz'
- ... bilden Ausgangspunkt für Standortwahl in Hinblick auf die Rahmenbewilligungsgesuche für das SMA- bzw. HAA-Lager
- ... mit dem Ziel, für **SGT-Etappe 3 mindestens 2 Standortgebiete pro Lagertyp** für die weiteren Untersuchungen vorzuschlagen

geologische und technische Barrieren (BE/HAA)



... bieten zuverlässigen langfristigen Einschluss;
behördliche Schutzkriterien weit unterschritten

Passive Barrieren – mehrfache Sicherheitsfunktionen

	<p>Glasmatrix in Stahlkokille Einschluss:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radionuklide in Glas eingeschlossen <p>Verminderung der Radionuklidfreisetzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niedrige Glaskorrosionsrate <p>Abgebrannte Brennelemente Einschluss:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radionuklide in Brennstofftabletten und Hüllrohren eingeschlossen <p>Verminderung der Radionuklidfreisetzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niedrige Auflösungsrate der Brennstofftabletten und Hüllrohre
	<p>Stahlbehälter Einschluss:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verhindert Wasserzutritt und Radionuklidfreisetzung für mehr als 10 000 Jahre <p>Verminderung der Radionuklidfreisetzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Korrosionsprodukte sorgen für günstigen Chemismus • Korrosionsprodukte nehmen die Radionuklide auf
	<p>Bentonitverfüllung Einschluss:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lange Dauer bis zur Wiederaufsättigung mit Wasser • Plastizität (Selbstabdichtung nach physikalischer Störung) <p>Verminderung der Radionuklidfreisetzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Niedrige Transportraten für gelöste Stoffe (Diffusion) • Verzögerung des Radionuklidtransports (Sorption) • Niedrige Radionuklidlöslichkeit im Porenwasser
	<p>Geologische Barrieren – Wirtgestein Einschluss:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine wasserführenden Systeme • Mechanische Stabilität <p>Verminderung der Radionuklidfreisetzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Begrenztes Wasserangebot • Verzögerung des Radionuklidtransports (Sorption, Kolloid-Filtration) <p>Geologische Barrieren – Geosphäre Einschluss:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schutz der technischen Barrieren (z. B. vor Gletschererosion) <p>Verminderung der Radionuklidfreisetzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verzögerung des Radionuklidtransports (Sorption) • Reduktion der Radionuklidkonzentration (Verdünnung, radioaktiver Zerfall)

- **Multibarrierensystem**
 - Abfallmatrix (Glas, UO₂/MOX)
 - Behälter
 - Verfüllung (→ Interface) / Versiegelung
 - Wirtgestein

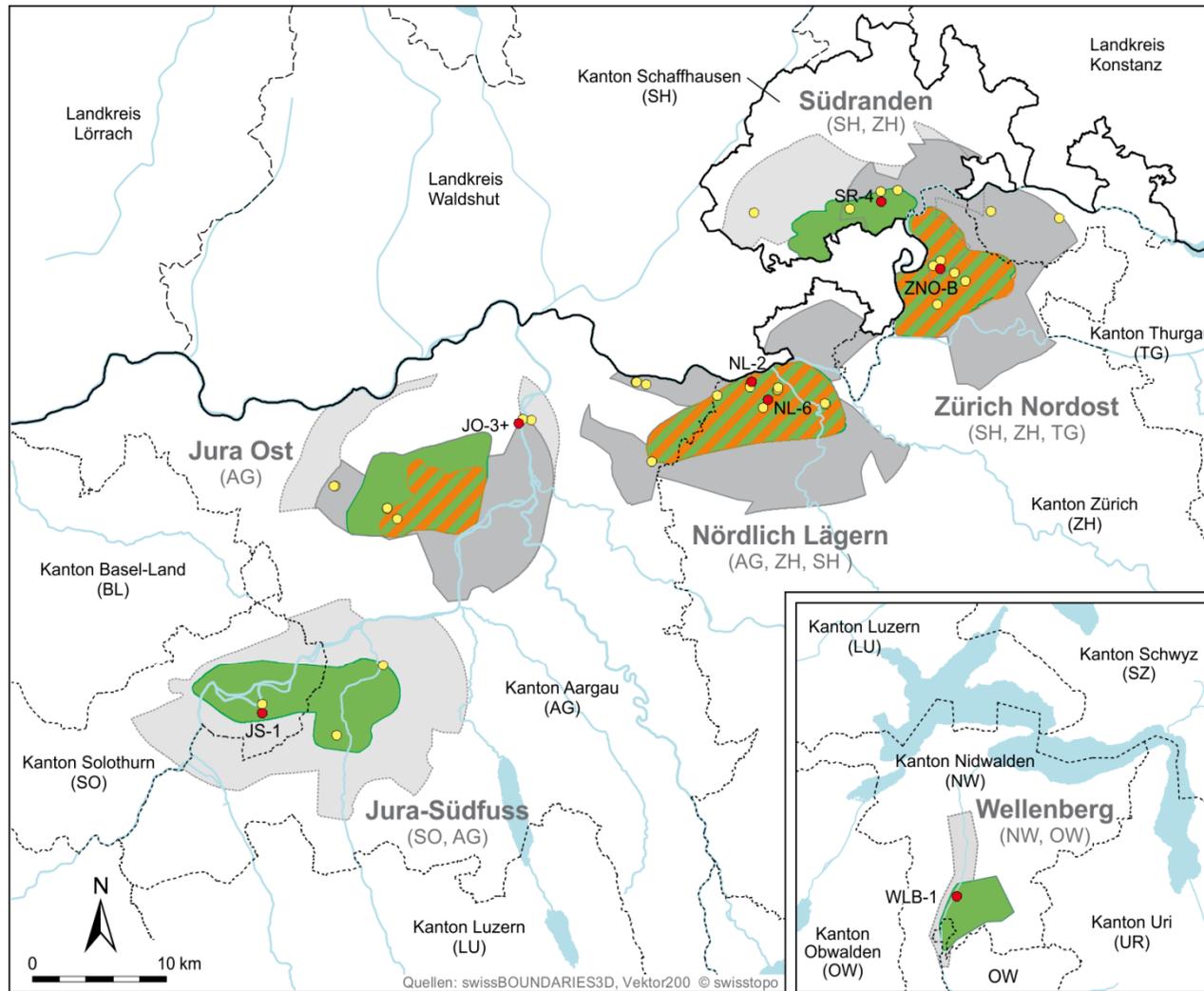
- **Angeordnet in stabiler Umgebung**
 - in grosser Tiefe
 - in stabiler geologischer Situation
 - keine wichtigen Nutzungskonflikte

- **Dies ergibt:**
 - Isolation vom menschlichen Lebensraum
 - Einschluss & Zerfall der meisten RN innerhalb des Barrierensystems
 - Verzögerung & Verringerung der Freisetzung der verbleibenden RN (sehr kleine Dosen)

Pfeiler der Sicherheit (→ wichtige Themen)

- stabile Situation (unter Berücksichtigung der Langzeitentwicklung)
 - Lager im tiefen Untergrund (> 400 m Überlagerung)
 - ruhige Geologie (ungestörte Lagerung, vor Erosion geschützt, ...)
 - keine bedeutenden Ressourcenkonflikte (Rohstoffe, Nutzung Untergrund)
 - lagerbedingte Einflüsse begrenzt
- gute Eigenschaften Opalinuston
 - kleine Durchlässigkeit (vernachlässigbare Advektion!)
 - Selbstabdichtungsvermögen (Quellen, Kriechen)
 - günstige Radionuklid-Rückhalteeigenschaften
 - günstige Bedingungen für technische Barrieren (bei Beschränkung Tiefenlage)
- geeignete technische Barrieren
 - Bentonit als Interface zwischen Abfällen und Wirtgestein, gute Radionuklid-Rückhalteeigenschaften
 - BE-/HAA-Behälter (Einschluss während transienter Phase)
 - auslaugresistente Abfallmatrizen (Glas, UO_2 /MOX)
- günstige Geochemie im Gesamtsystem
 - Radionuklid-Immobilisierung, Langzeitverhalten technische Barrieren
- ... & gute Prognostizierbarkeit und Charakterisierbarkeit des Systems

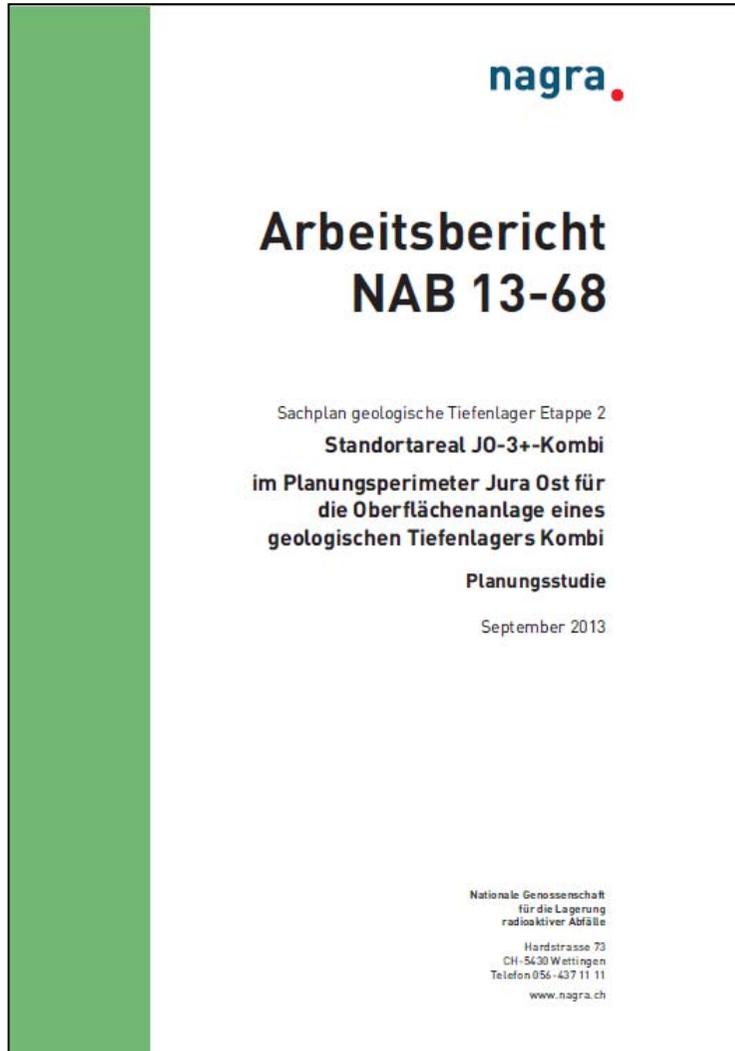
Standortareale für Oberflächenanlage – Resultat



Aufgrund der Partizipation von der Nagra bezeichnete Standortareale

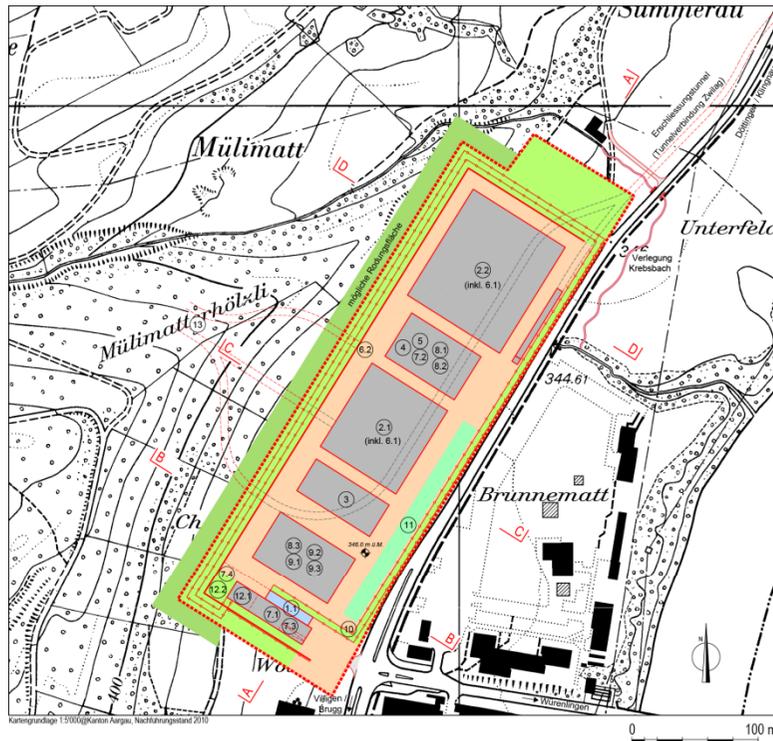
Bezeichnung Standortareale durch Nagra

ein Beispiel ...



- technische Anforderungen vs. Flexibilität bei der Platzierung & Ausgestaltung der Oberflächenanlage
- intensive, anspruchsvolle & konstruktive Zusammenarbeit im Rahmen der regionalen Partizipation
- nach Sachplan erfolgt die Bezeichnung durch die Nagra (Sicherheit, Bewilligungsfähigkeit) aufgrund der Zusammenarbeit mit den Regionen
- in allen Regionen konnte den Stellungnahmen der Regional-konferenzen gefolgt werden
- bildet Ausgangsbasis für weitere Zusammenarbeit in SGT-Etappe 3 (falls Standortgebiet weiter verfolgt wird)

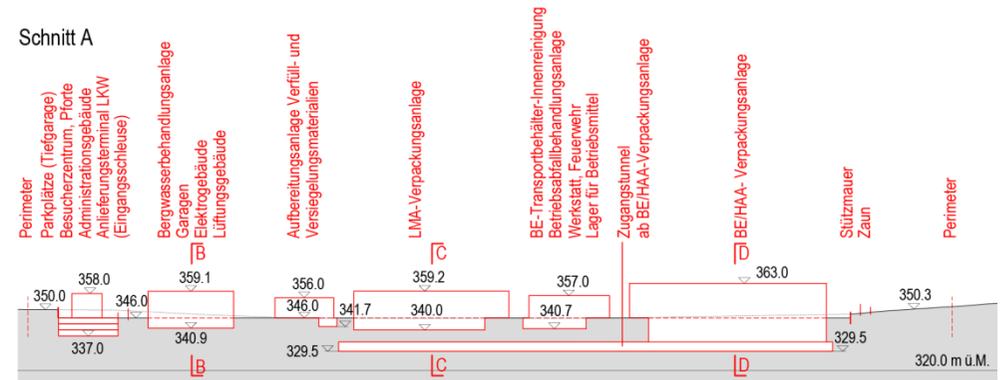
Beispiel JO-3+: Platzierung und Anordnung



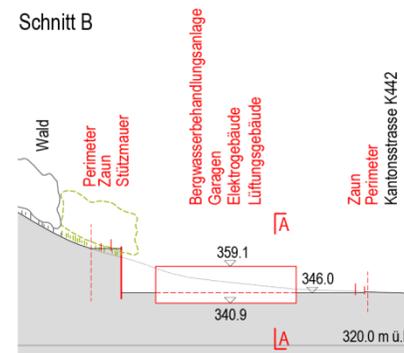
1. Anlieferungsterminal
 - 1.1 Anlieferungsterminal LKW (Eingangsschleuse)
2. Verpackungsanlagen
 - 2.1 LMA-Verpackungsanlage
 - 2.2 BE/HAA-Verpackungsanlage
3. Aufbereitungsanlage Verfüll- und Versiegelungsmaterialien
4. BE-Transportbehälter-Innenreinigung
5. Betriebsabfallbehandlungsanlage
6. Zugang nach Untertag
 - 6.1 Zugang internes Transportsystem
 - 6.2 Zugang externes Fahrzeug
7. Administration
 - 7.1 Administrationsgebäude
 - 7.2 Feuerwehr
 - 7.3 Pforte
 - 7.4 Parkplätze Personal (Tiefgarage)
8. Zentrale Werkstätten
 - 8.1 Werkstatt
 - 8.2 Lager für Betriebsmittel
 - 8.3 Garagen
9. Ver- und Entsorgungsinfrastruktur (für Anlagen untertage / übertage)
 - 9.1 Elektrogebäude
 - 9.2 Lüftungsgebäude
 - 9.3 Bergwasserbehandlungsanlage

10. Sicherheitsareal / überwachter Bereich
 11. Fläche für temporäre Anlagen
 12. Anlagenbesichtigung
 - 12.1 Besucherzentrum
 - 12.2 Parkplätze Besucher (Tiefgarage)
 13. Zugangstunnel
- | | | |
|--|---------------------------|------------|
| | Zaun | |
| | Benötigte Fläche | ca. 6.2 ha |
| | Versiegelte Fläche | ca. 2.3 ha |
| | Begrünte Fläche | ca. 1.6 ha |
| | Temporäre Freifläche | ca. 0.2 ha |
| | Mögliche Rodungsfläche | ca. 2.0 ha |
| | Schleuse | |
| | Gebäude | |
| | Neubau Strasse | ca. 0.1 ha |
| | Neubau Verbindung Zwiilag | ca. 0.7 ha |

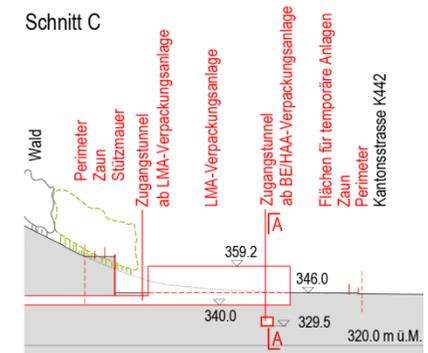
Schnitt A



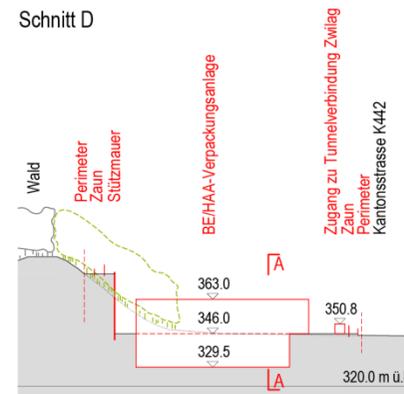
Schnitt B



Schnitt C



Schnitt D



stufengerechte
Information zur
Oberflächenanlage



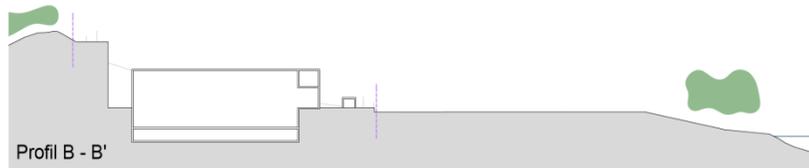
Oberflächenanlage: Gestaltung (Beispiel JO-3+)



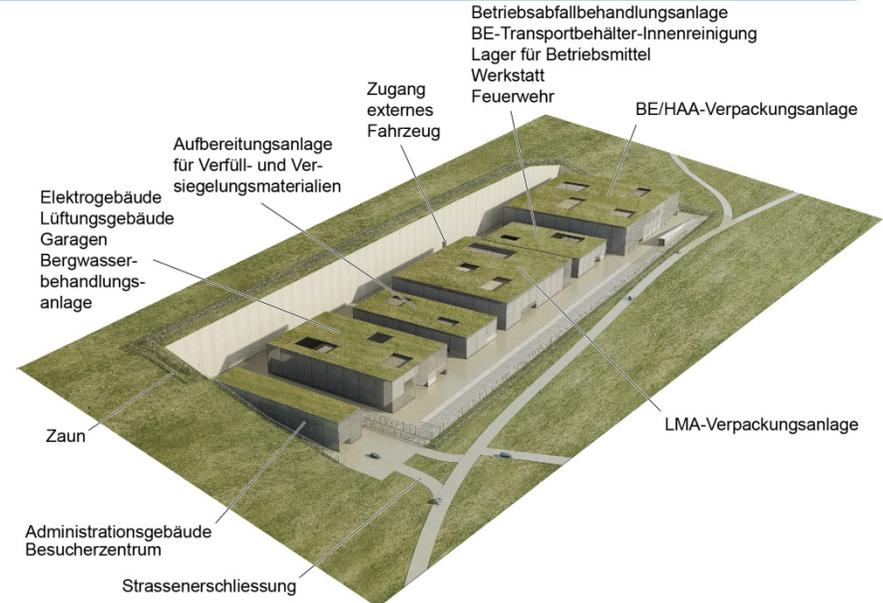
0 1000 m



0 500 m



0 100 m





Schrittweises Vorgehen: Phasen & Meilensteine / Entscheidungspunkte

Geologische Tiefenlager: Entscheidungspunkte

- **Entsorgungsnachweis:** Nachweis Machbarkeit sicherer Entsorgung der radioaktiven Abfälle als Voraussetzung für weiteren Betrieb bestehende KKW & für Rahmenbewilligung neue KKW (SMA: 1988; HAA: 2006)
- **Standortwahl** (in 3 Etappen, ab 2008)
 - **Etappe 1:** Geologische **Standortgebiete** (Anlagen Untertag), Planungsperimeter (Oberflächenanlage), Standortregion (Partizipation) (2011)
 - **Etappe 2:** Bezeichnung **Standortareale** in jedem der Standortgebiete, Einengung auf **mind. je 2 Standortgebiete** für SMA- bzw. HAA-Lager
 - **Etappe 3:** Wahl Standort für SMA- bzw. HAA-Lager oder Kombi-Lager & Rahmenbewilligungsverfahren
- **Rahmenbewilligung** (~ 2030)
- **(Nukleare) Baubewilligung** (Felslabor > 2030; SMA > 2040; HAA > 2050)
- **Nukleare Betriebsbewilligung** (SMA ~ 2050; HAA ~ 2060)
- **Anordnung Verschluss**
- BR-Bewilligung für (ausgewählte) **erdwissenschaftliche Untersuchungen** (Sondierbohrungen, Bau standortspezifische Felslabors)
- alle 5 Jahre Aktualisierung **Entsorgungsprogramm & Kostenschätzung**

Geologische Tiefenlager: Entscheidungspunkte

- **Entsorgungsnachweis:** Nachweis Machbarkeit der sicheren Entsorgung
- **Standortwahl** (in 3 Etappen, seit 2008)
 - **Etappe 1:** Geologische **Standortgebiete** (Anlagen Untertag), Planungsperimeter (Oberflächenanlage), Standortregion (Partizipation); Abschluss 2011
 - **Etappe 2:** Bezeichnung **Standortareale** in jedem der Standortgebiete, Einengung auf **mind. je 2 Standortgebiete** für SMA- bzw. HAA-Lager
 - **Etappe 3:** Wahl Standort für SMA- bzw. HAA-Lager oder Kombi-Lager & Rahmenbewilligungsverfahren
- **Rahmenbewilligung**
- **(Nukleare) Baubewilligung**
- **Nukleare Betriebsbewilligung**
- **Anordnung Verschluss**



Forschungskontrolle: periodische externe Reviews & Beurteilungen

Forschung & Entwicklung: externer Review & Beurteilung

Unterlagen für den Review und die Beurteilung

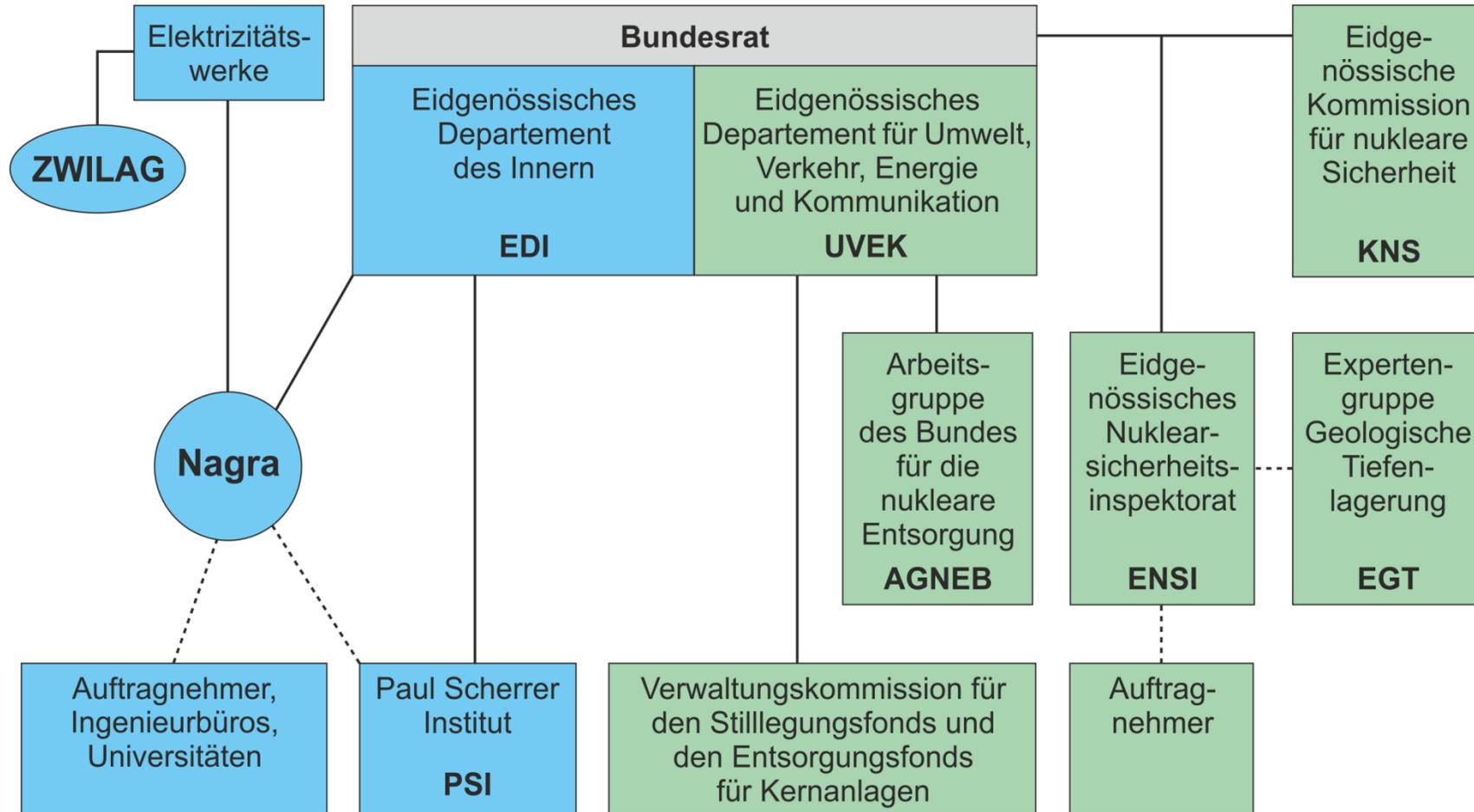
- Aspekte der **Meilenstein-Berichte**, welche die Forschung & Entwicklung betreffen (Bedeutung des schrittweisen Vorgehens)
- Spezialfall: formelle **Beurteilung des Kenntnisstands** in Hinblick auf SGT-Etappe 2 (NTB 10-01)
- Review und Beurteilung **Entsorgungsprogramm**, inkl. Referenzbericht (**RD+D-Plan**)

Durchführung des externen Reviews und der Beurteilung

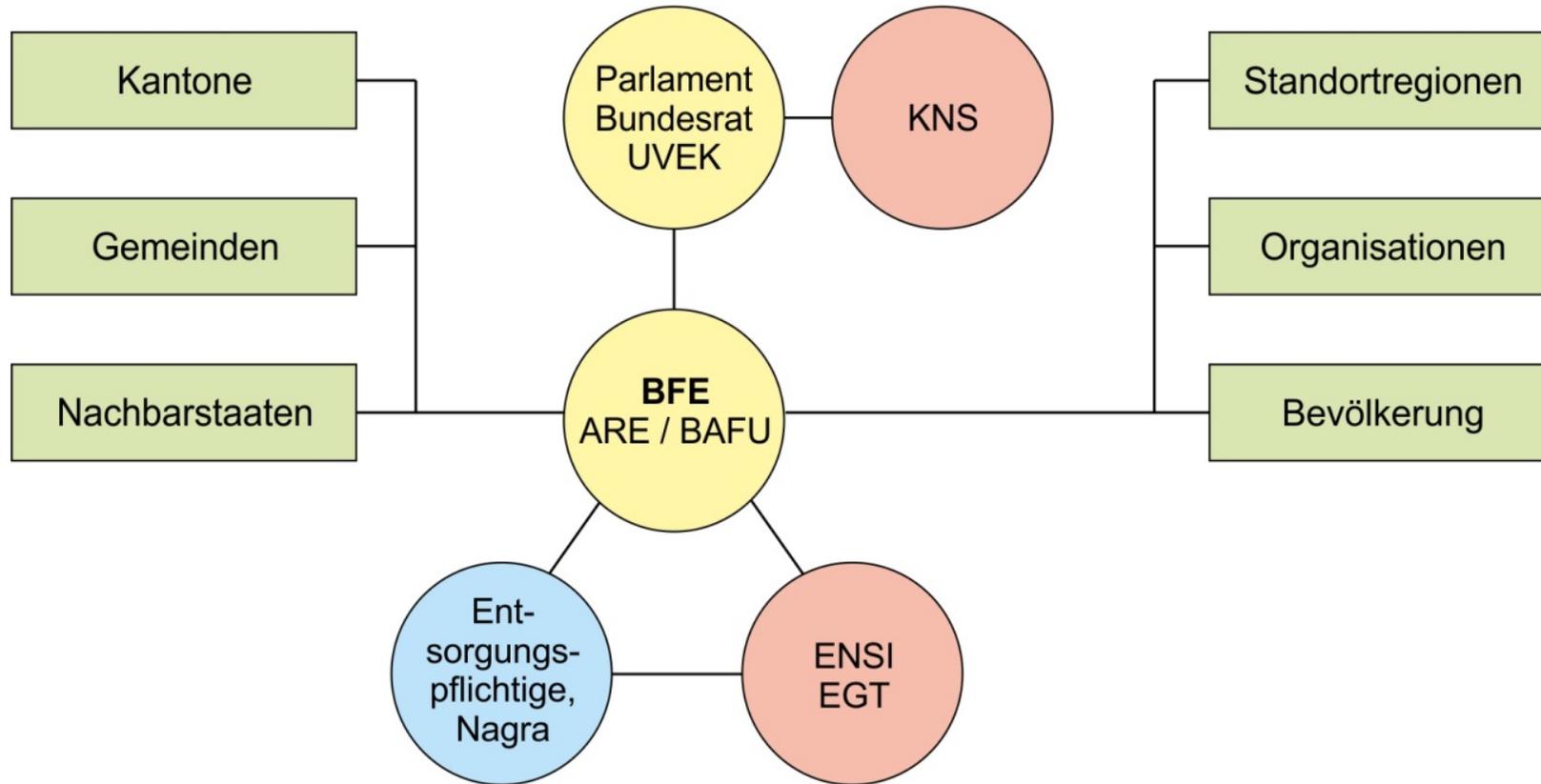
- **zuständige Behörden** (gesetzlich geregelt) mit Beizug von Experten
- **Auflage** der Unterlagen → breite Möglichkeiten der Mitwirkung (Anhörung, Einsprache)

- P.S.: vorgängig interne Reviews

Entsorgung Schweiz: klare Rollenteilung



Standortwahl (Sachplan): Beteiligte

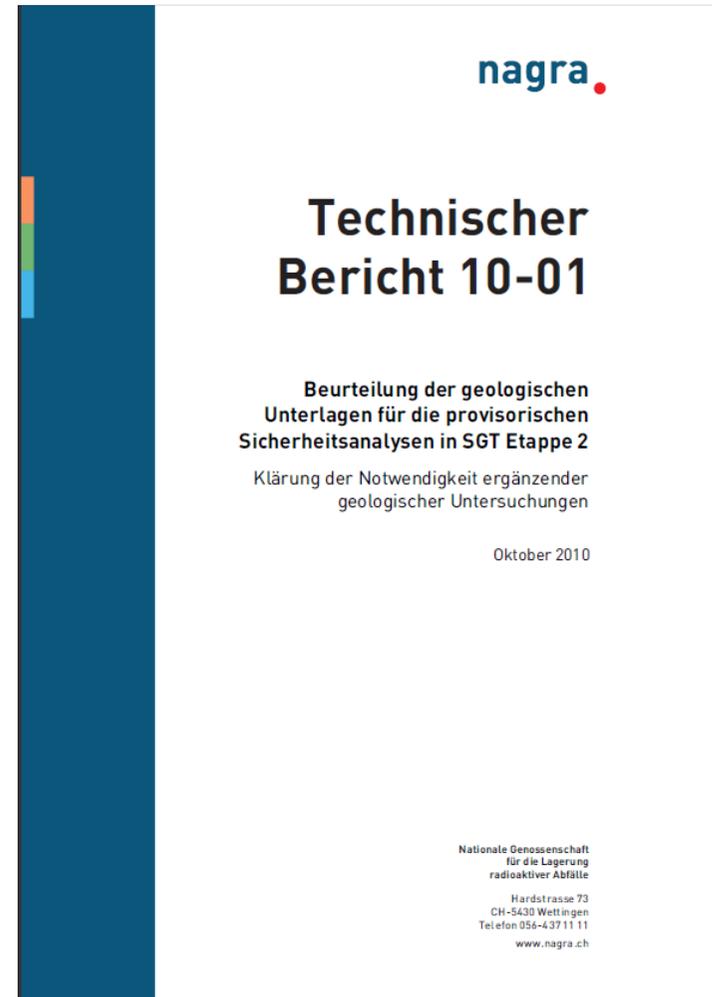


Beurteilung Kenntnisstand (SGT-Etappe 2)

Dazu: ein Bericht nach Vorgaben der Behörden ...

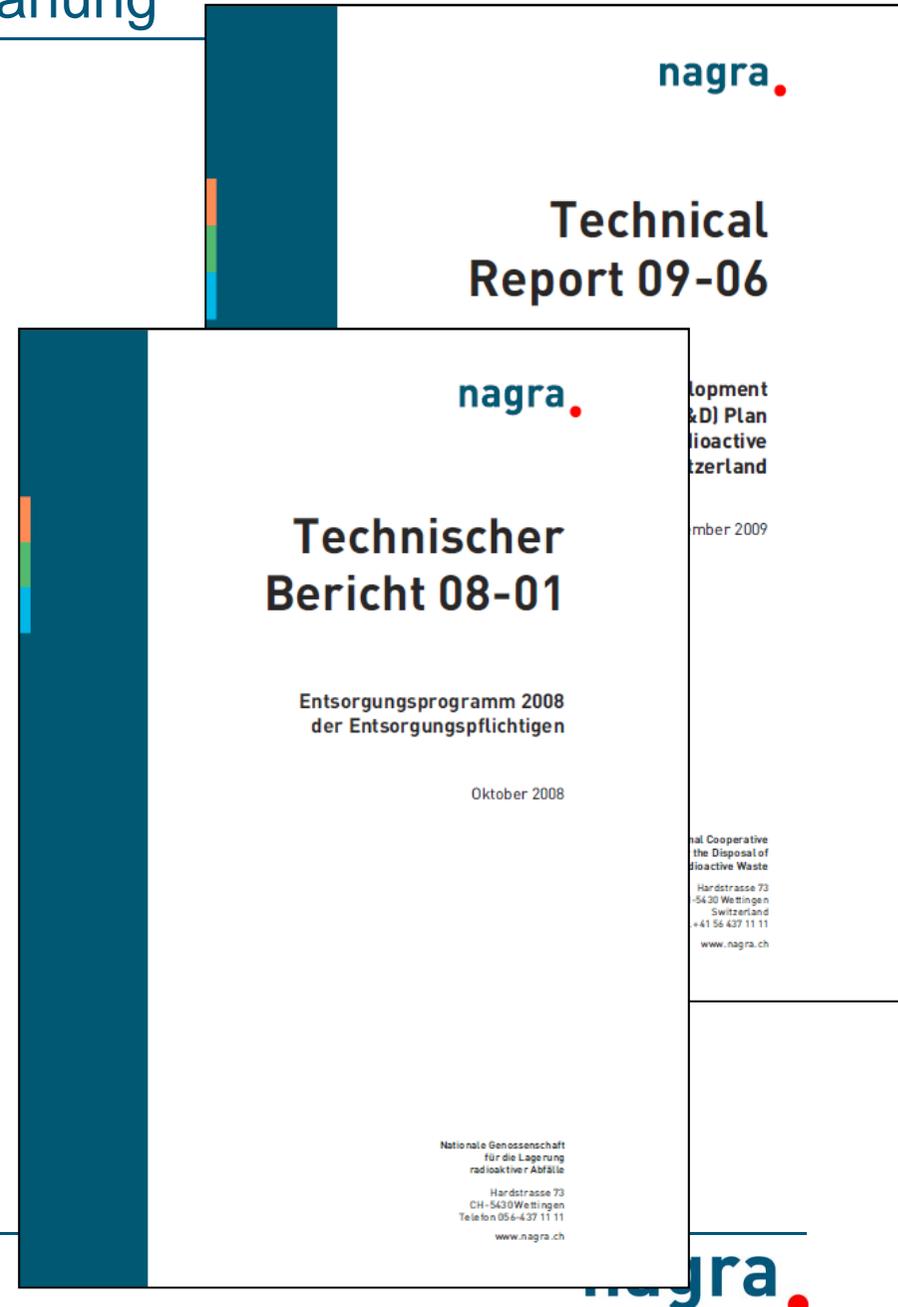
- Umfang
 - Haupttext ca. 200 S.
 - Anhang knapp 200 S.
- Aufbau
 1. Einleitung
 2. Vorgehen
 3. Prozesse & Parameter
 4. Informationen & Kenntnisstand
 5. Beurteilung technische Machbarkeit
 6. Testrechnungen
 7. Evaluation Kenntnisstand
 8. Laufende & geplante Arbeiten
 9. Schlussfolgerungen

Anhang



Forschung & Entwicklung: Planung

- Entsorgungsprogramm (NTB 08-01)
 - Einleitung & Zielsetzung
 - Die radioaktiven Abfälle und Materialien
 - Die geologischen Tiefenlager
 - Der Realisierungsplan für die geologischen Tiefenlager
 - Zwischenlagerung
 - Kosten & Finanzierung der Entsorgung
 - Informationskonzept
 - Schlussfolgerungen
- Referenzbericht: 'Forschungsplan' (RD+D-Plan; NTB 09-06)
 - Introduction
 - Overview of implementation plan and underlying assumptions in relation to stepwise repository development
 - The RD&D planning process and methodology
 - Status of RD&D for disposal of HLW & L/ILW
 - Strategic requirements and programme assumptions for RD&D for repository development
 - Overview of the technical programme of work



Kernenergiegesetz: Aufgaben & Verantwortungen

Art. 32 Entsorgungsprogramm

- 1 Die **Entsorgungspflichtigen erstellen ein Entsorgungsprogramm**. Dieses enthält auch einen Finanzplan bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen. Der Bundesrat legt die Frist fest, innert der das Programm zu erstellen ist.
- 2 Die vom Bundesrat **bezeichnete Behörde überprüft** das Programm. Das Departement unterbreitet es dem **Bundesrat zur Genehmigung**.
- 3 Die vom Bundesrat **bezeichnete Behörde überwacht die Einhaltung** des Programms.
- 4 Die **Entsorgungspflichtigen** müssen das Programm **periodisch** an veränderte Verhältnisse **anpassen**.
- 5 Der **Bundesrat** erstattet der **Bundesversammlung** regelmässig Bericht über das Programm.

Kernenergieverordnung: Aufgaben & Verantwortungen

Art. 52 Entsorgungsprogramm

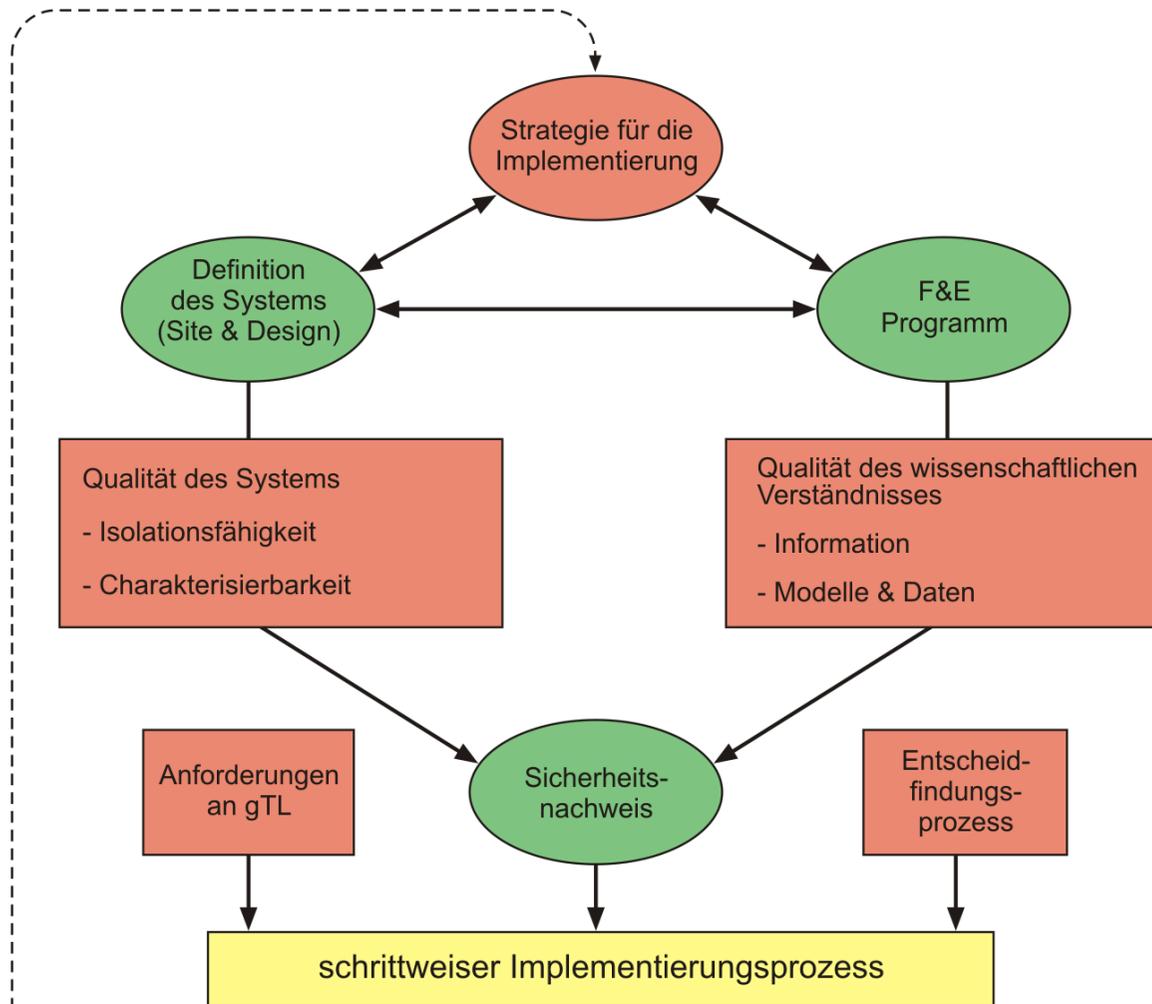
- 1 Die Entsorgungspflichtigen haben im Entsorgungsprogramm Angaben zu machen über
 - a. Herkunft, Art und Menge der **radioaktiven Abfälle**;
 - b. die **benötigten geologischen Tiefenlager** einschliesslich ihres **Auslegungskonzepts**;
 - c. die **Zuteilung der Abfälle** zu den geologischen Tiefenlagern;
 - d. den **Realisierungsplan** für die Erstellung der geologischen Tiefenlager;
 - e. die **Dauer** und die benötigte **Kapazität** der zentralen und der dezentralen **Zwischenlagerung**;
 - f. den **Finanzplan** für die Entsorgungsarbeiten bis zur Ausserbetriebnahme der Kernanlagen, mit Angaben über:
 1. die zu tätigenen Arbeiten,
 2. die Höhe der Kosten,
 3. die Art der Finanzierung
 - g. das **Informationskonzept**.
- 2 Die Entsorgungspflichtigen haben das Programm **alle fünf Jahre anzupassen**.
- 3 Zuständig für die **Überprüfung** und die **Überwachung** der Einhaltung des Programms sind das ENSI und das Bundesamt [BFE]

*Forschung:
Planung & Umsetzung*

Festlegung der F+E-Schwerpunkte

- Die internen Leitfragen für anstehende Meilensteine
 - *wo wollen / müssen wir hin? was soll entschieden werden?* (Planung)
 - *wo sind wir heute?* (abgestützt auf **Synthese: Fachthemen im Kontext**)
 - *was fehlt? wie wichtig? wie dringend?* (**Prioritätensetzung**)
 - *welchen Handlungsspielraum gibt es bzgl. Fehlendem?* (**Evaluation möglicher Alternativen**)
 - *welche Ansprüche an Fehlendes?* (**Genauigkeit? Belastbarkeit?**)
 - *wie kann Fehlendes beschafft werden?* (**Ausprägung der Projektabwicklung**)
- RD+D braucht **durchdachte & begründete Gesamtstrategie bzgl. Umgang mit Ungewissheiten**
(was kann wie weit akzeptiert werden, was nicht? weshalb?)
 - können **Ungewissheiten** akzeptiert werden? → Sind sie **kritisch für Entscheid?** Gibt es **Massnahmen zur Beherrschung der Ungewissheiten?**
 - RD+D zur **Reduktion der Ungewissheiten** → ist eine **substantielle Reduktion** absehbar? **Belastbarkeit** der Aussagen?
 - führt zu **systematischer Prioritätensetzung** (RD+D priority plan)
 - P.S.: **endgültige Festlegungen** so früh wie nötig, aber so spät wie sinnvoll möglich treffen (**Erhalt der Möglichkeit zum Lernen**)

Schlüsselemente für die Entscheidungsfindung



(aus NTB 02-05)

Strategie für die Implementierung

- Definition des Systems (Standort, Auslegung)
- F+E - Programm

Beurteilung Sicherheit & technische Machbarkeit: periodische Überprüfung der Strategie

- Qualität des Systems
- Qualität des Verständnisses

übergeordnete Elemente

- Anforderungen an Lager
- Entscheidungsfindungsprozess (wer? was? wann? wie?)
- Nächster Schritt? Flexibilität?

Bedeutung des Teams (Verantwortungen)

	Management	Science and technology	Safety assessment	Bias audit
Management	Overall management of project	Keep work of groups focused on project goals; maintain overview of role/requirements of different groups; be responsive and accessible		
Science and technology	Keep management informed (incl. any problem areas that need resources focussed on them)	Develop and evaluate scientific basis for safety assessment	Provide safety assessment team with understanding required to develop system concept and tools for analysis; revisit key assumptions	Provide bias audit team with comprehensive view of system understanding (including limitations)
Safety assessment	(as above)	Ensure that science and technology is aware of activities and information requirements of safety assessment team	Formulate and analyse safety assessment cases; assess "independent evidence"; compile safety case	Provide bias audit team with description of cases and concepts and tools used to analyse them
Bias audit	(as above)	Ensure that the scientific basis for safety assessment is adequately documented	Ensure that appropriate use is made by safety assessment of available scientific understanding	Ensure that the scientific basis for safety assessment is complete, adequately documented and exploited in safety assessment

Die Bedeutung des Teams

- **Management:** verantwortlich für Interaktion, Iteration, Feedback, Entscheide herbeiführen
- **Wissenschaft:** verantwortlich für gute wissenschaftliche Basis
- **Sicherheitsanalyse:** verantwortlich für Zusammenstellung Informationen, Analyse, Zusammenstellung **Argumente für Entscheide**
- **'Bias audit':** beabsichtigte **Einseitigkeit** (Konservativitäten) klar dokumentiert, unbeabsichtigte Einseitigkeit sichtbar machen bzw. eliminieren

RD+D-Projekte: operationelle Bearbeitung

- 1 eigene Projekte, geleitet bzw. bearbeitet durch **Nagra Personal**
- 2 Projekte abgewickelt über **Nagra Kompetenzzentren** (ausserhalb der Nagra, aber eng begleitet durch Nagra)
- 3 **Partnerprojekte** (teilweise über **Plattformen** abgewickelt)
- 4 Resultate/'Produkte' **auf dem Markt** kaufen
- 5 Entwicklungen **beobachten** & bei Bedarf **übernehmen**

P.S.: braucht in jedem Fall eine **hohe Fachkompetenz** (Auftragsanalyse & Auftrag, Bearbeitung/Begleitung, Synthese & Abschluss)

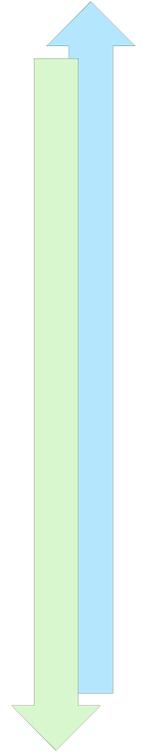
Vorhandene Plattformen

- **Felslabors Schweiz** (Mont Terri, Grimsel)
- **nationale Kompetenzzentren** (PSI, Uni Bern, ETHZ, EPFL, ...)
- **Partnerprojekte** (EU: IGD-TP, ...; OECD/NEA, bi-/multilateral)
- ...

Forschungsthemen: Bearbeitung

RD+D-Projekte haben unterschiedliche Ambitionen

- *'an der Spitze der Forschung'* (Ziele: 'vertiefen')
- *'mit dabei und anerkannt'* (Ziele: 'prüfen', 'konsolidieren', 'vertiefen')
- *'umsetzen von Forschungsergebnissen'* auf spezifische Situation
→ 'entwickeln & erproben'
- *'beobachten'* der Forschung (Teil der Fachwelt, verfolgen der Literatur, ...) & Übernahme der Resultate → 'Bescheid wissen'
- indirekte Berücksichtigung durch *'Kauf guter Produkte / Lizenzen, ...'* auf dem Markt (Einkauf von RD+D-Resultaten)
→ 'kompetenter Kunde'



Die Stufe der Ambition ändert sich im Verlauf des Projekts mehrfach

P.S.: alle Stufen brauchen **qualifizierte Mitarbeiter**, die sich mit Thema und zugehöriger Forschung auskennen

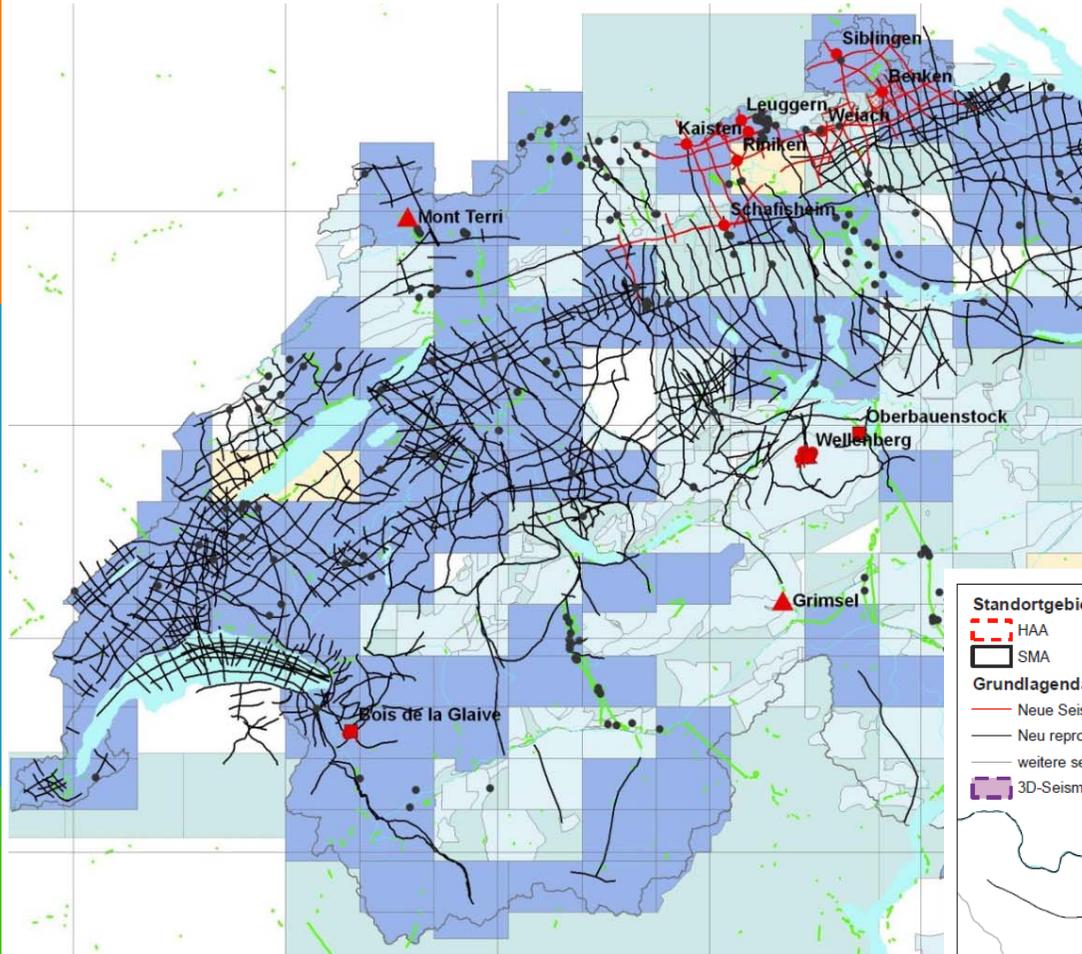


Forschung: aktueller Stand

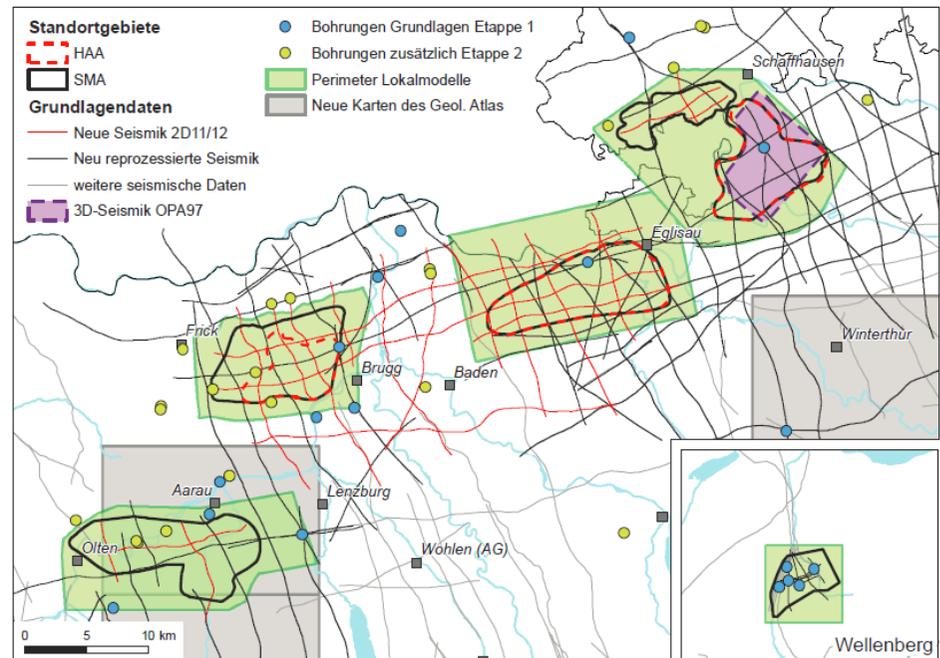
Forschung & Entwicklung: Stand

- klare gesetzliche & behördliche Regelungen (periodisch angepasst)
- früher Beginn der Forschung & Entwicklung: Ende 70-er Jahre (Erarbeitung Konzept ('Braunbuch'), Beginn mit 'Projekt Gewähr '85')
- umfassendes Programm
 - Erfassung & Charakterisierung radioaktive Abfälle
 - Erarbeitung geologische Unterlagen (inkl. Feldarbeiten, Felslabors)
 - Entwicklung Lagerkonzepte & zugehörige Komponenten
 - Beurteilung der Sicherheit, Sicherheitsanalysen
- kontinuierliches Vorgehen in vielen kleinen Schritten mit intensivem Feedback hat zu heutigem Projektstand geführt (lernendes Verfahren)
- **zwei Lagertypen mit folgenden Festlegungen**
 - geologische Standortgebiete (Standortgebiet, Wirtgestein)
 - Lagerkonzepte (wo sinnvoll: Alternativen vorhanden)
- und zusätzlich:
 - Team mit Wissen & Erfahrung
 - Infrastruktur & Instrumente (Labors, Felslabors, weiteres)
 - Netzwerk

gute geologische Informationsbasis



- Oberflächenkartierung
- Tunnel-/Stollenaufnahmen
- Seismik, weitere geophysikalische Methoden
- Bohrungen
- Felslabors (Mont Terri, Grimsel)
- Labor, Studien, Erfahrung



Forschung Felslabors: starke internationale Vernetzung

Eigentum
Kanton Jura
geleitet durch swisstopo
in Betrieb seit **1996**



Mont Terri Projekt



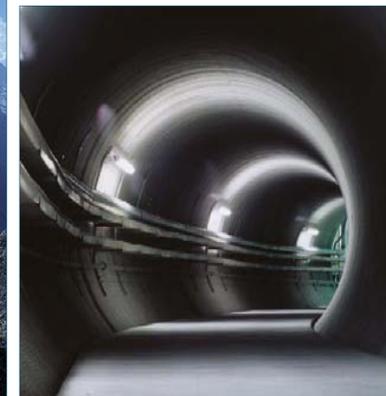
Opalinuston



Felslabor Grimsel



Kristallin



Leitung Nagra
in Betrieb seit **1984**

Programm SMA: viele Schritte, viel Erfahrung



Programm HAA: viele Schritte, viel Erfahrung



*Forschungsbedarf:
Themen (und ein paar Beispiele)*

Forschung & Entwicklung: Gliederung der Themen

... unabhängig von Phase als Unterlage für Planung, d.h. für
Prioritätensetzung & Festlegung der 'Ausprägung':

- radioaktive Abfälle / Stoffe
- Lagerkonzepte
- technische Barrieren: Behälter
- technische Barrieren: Verfüllung & Versiegelung
- geologische Barriere: geologische Langzeitentwicklung
- geologische Barriere: Barrierenwirkung
- geologische Barriere: lagerbedingte Einflüsse
- Bau, Betrieb und Verschluss der geologischen Tiefenlager
- Methoden zur Beurteilung & Bewertung der Sicherheit

P.S.: alle Themen sind in meisten Phasen in Bearbeitung, aber mit ganz unterschiedlichem & wechselndem Aufwand und wechselnder Ambition

Geologische Tiefenlager: Entscheidungspunkte

- **Entsorgungsnachweis:** Nachweis Machbarkeit der sicheren Entsorgung
- **Standortwahl** (in 3 Etappen)
 - **Etappe 1:** Geologische **Standortgebiete** (Anlagen Untertag), Planungsperimeter (Oberflächenanlage), Standortregion (Partizipation)
 - **Etappe 2:** Bezeichnung **Standortareale** in jedem der Standortgebiete, Einengung auf **mind. je 2 Standortgebiete** für SMA- bzw. HAA-Lager
 - **Etappe 3:** Wahl Standort für SMA- bzw. HAA-Lager oder Kombi-Lager & Rahmenbewilligungsverfahren
- **Rahmenbewilligung**
- **(Nukleare) Baubewilligung**
- **Nukleare Betriebsbewilligung**
- **Anordnung Verschluss**

Rahmenbewilligung: Elemente (gemäss KEG & KEV)

Die Rahmenbewilligung legt fest:

- a. den Bewilligungsinhaber;
- b. den Standort;
- c. den Zweck der Anlage;
- d. die Grundzüge des Projektes;
- e. die maximal zulässige Strahlenexposition für Personen in der Umgebung der Anlage;
- f. für geologische Tiefenlager zudem:
 1. Kriterien, bei deren Nichterfüllung ein vorgesehener Lagerbereich wegen fehlender Eignung ausgeschlossen wird,
 2. einen vorläufigen Schutzbereich.

- Standortwahl und Begründung
- Anlage in den Grundzügen
- Sicherheit (Systemverständnis → Optimierung, Sicherheitsberichte)

... zusätzlich einen Bericht mit folgenden Informationen:

- a. einen Vergleich der zur Auswahl stehenden Optionen hinsichtlich der Sicherheit des geplanten Tiefenlagers;
- b. eine Bewertung der für die Auswahl des Standorts ausschlaggebenden Eigenschaften;

Forschung & Entwicklung: Themen → Forschung (1)

... im Gange bzw. in Vorbereitung (vorläufig): ein paar Beispiele

- radioaktive Abfälle / Stoffe
 - Ergänzung/Vertiefung **Charakterisierung**: Nuklide (inkl. Aktivierung), Materialien, Freisetzung (z.B. C-14 aus Stahl), Gasbildungsraten, ...
 - **Behandlung** Rohabfälle: Untersuchung von spezifischen Alternativen
- Lagerkonzepte
 - Grundkonzept: **Prüfraster vorhanden & angewendet**, 'offene Augen'
 - Festlegung / Bearbeitung von **Alternativen für einzelne Komponenten**
- technische Barrieren: Behälter
 - Ergänzungen, **Beurteilung von Alternativen**
 - Festlegung **Referenzkonzept**
- technische Barrieren: Verfüllung & Versiegelung
 - Ergänzung **Materialcharakterisierung**
 - Erprobung **Einbringtechnologie**
 - **Langzeitversuche** in Felslabors

BE-Behälter/Behältermaterialien: Optionen

Stahlbehälter (Kohlenstoff-Stahl, Wanddicke ca. 14 cm); Konzept vorhanden, ergänzende Korrosionsexperimente im Gang

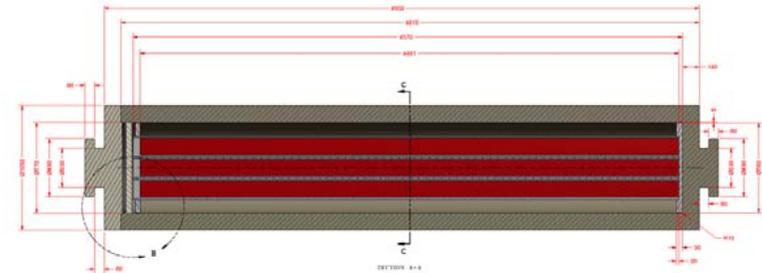
Cu-Mantel um Innenbehälter (Wanddicke ca. 5 cm) mit Guss-Innenbehälter (SKB, Posiva; praktisch fertig entwickelt)

Cu-Beschichtung von Innenbehälter (Stahl bzw. Guss) mit Dicke ca. 5 mm (gemeinsames Projekt mit NWMO; erfolgsversprechend)

Keramikbehälter: Material, Behälter, Verschluss (Konzeptstudien mit Andra, Review Empa; Potenzial: fraglich)

P.S.: Keramik-Beschichtungen?

Weitere Materialien (Titan, Ni-Legierungen)

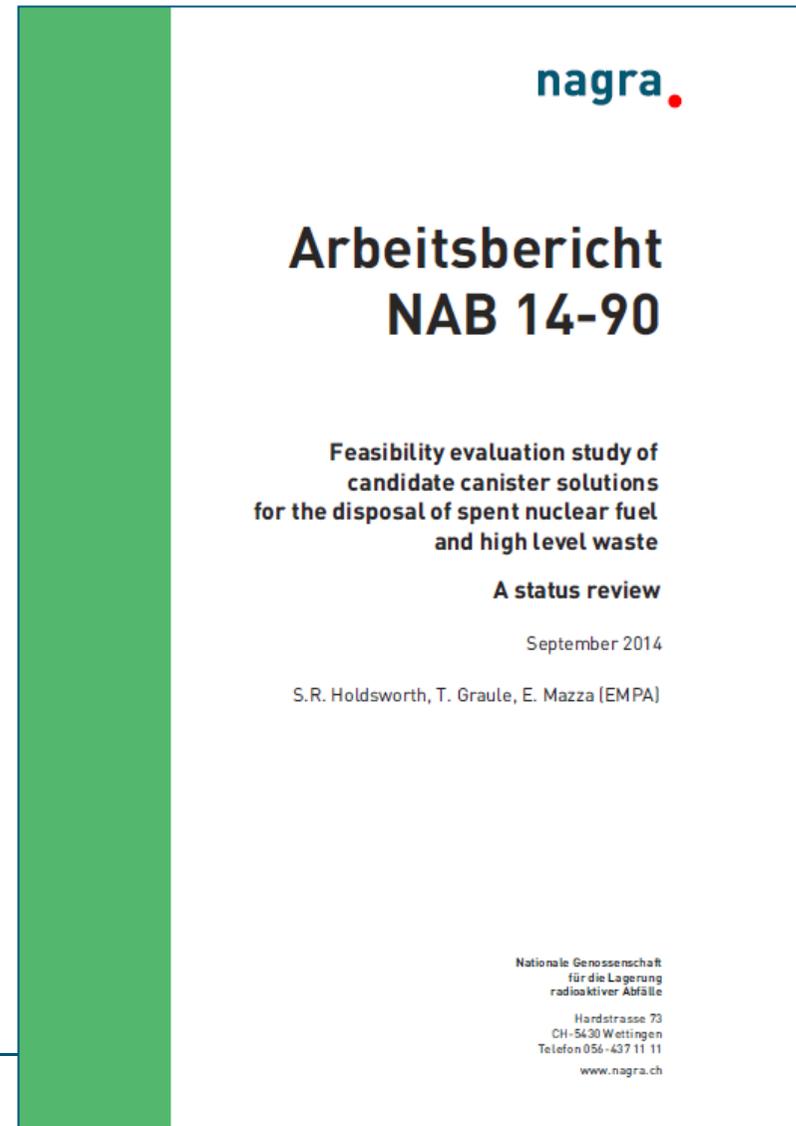


periodischer Review: dokumentiert

als Beispiel eines internen Reviews mit externen Experten

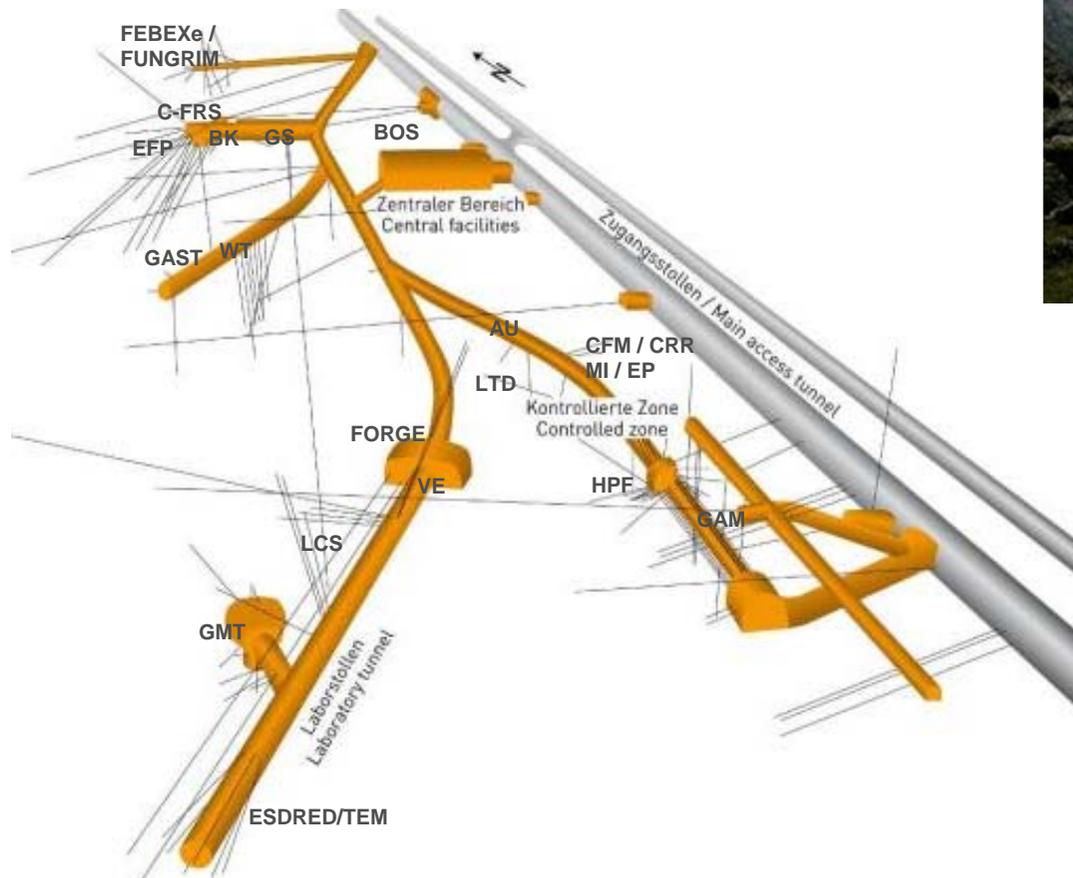
Kriterien

- mechanische Integrität
- Korrosion, Degradation (Bedeutung in-situ Bedingungen)
- Einfluss auf geologische Barriere
- Zuverlässigkeit der Aussagen zur Dauer der Dichtigkeit
- Herstellung und Verschluss
- Kosten (Chancen auf Erfolg)



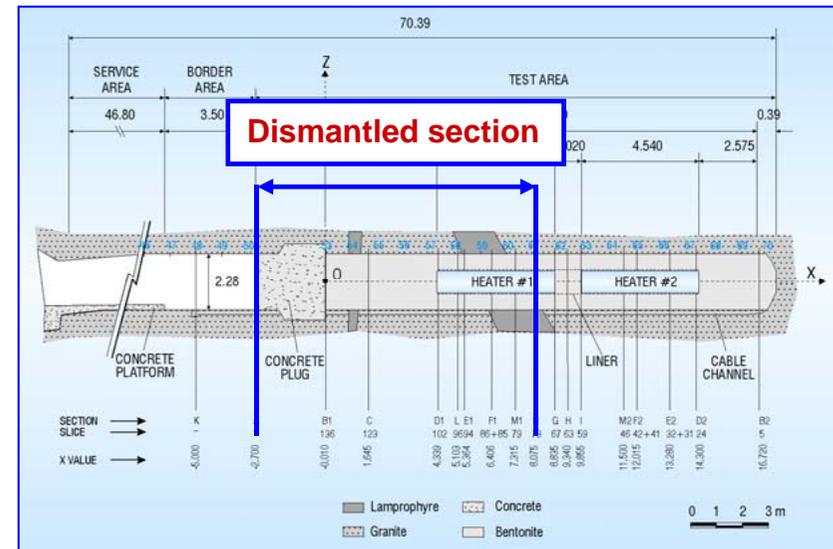
Bentonit: FEBEX Felslabor Grimsel

Langzeitexperiment zum Verhalten von Bentonit
(seit 1998; Abschluss in Vorbereitung)

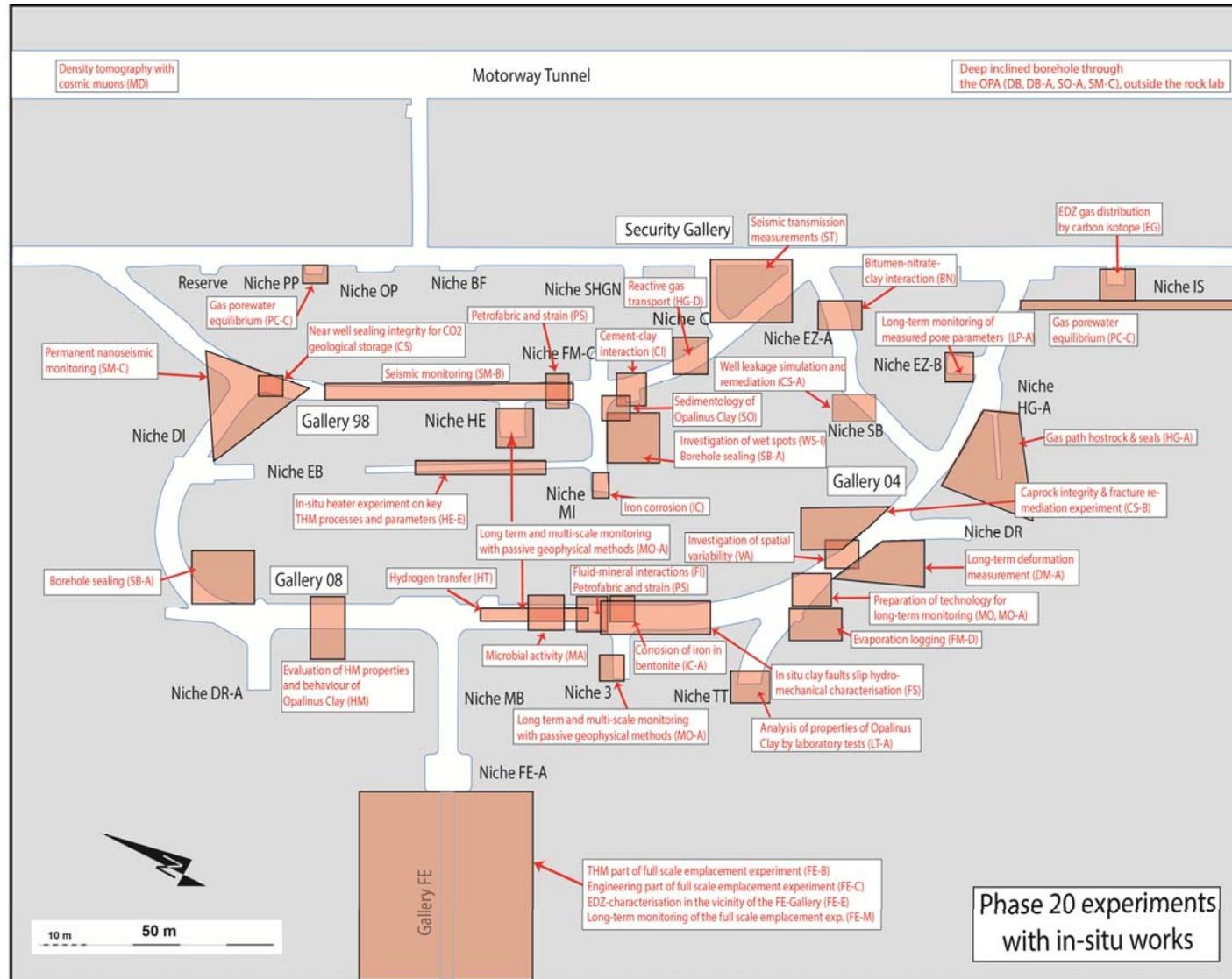


FEBEX Felslabor Grimsel

- Massstabgerechter HAA-Lagerstollen (>700 Sensoren)
- Parallel grosser Laborversuch zur Überprüfung
- In Betrieb seit 1998
- erster Teil ausgebaut (2002)
- Informationen bzgl. Bentonitverhalten, Monitoring



Mont Terri: grosse Zahl von Versuchen



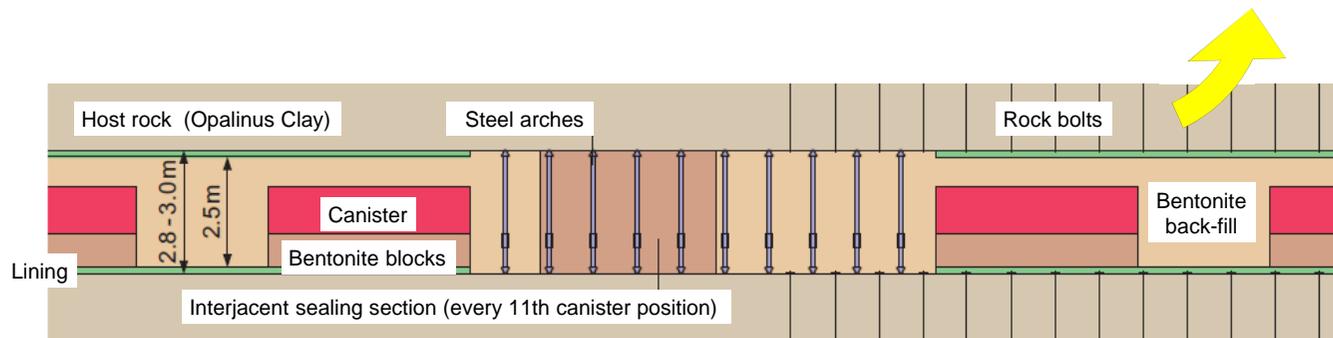
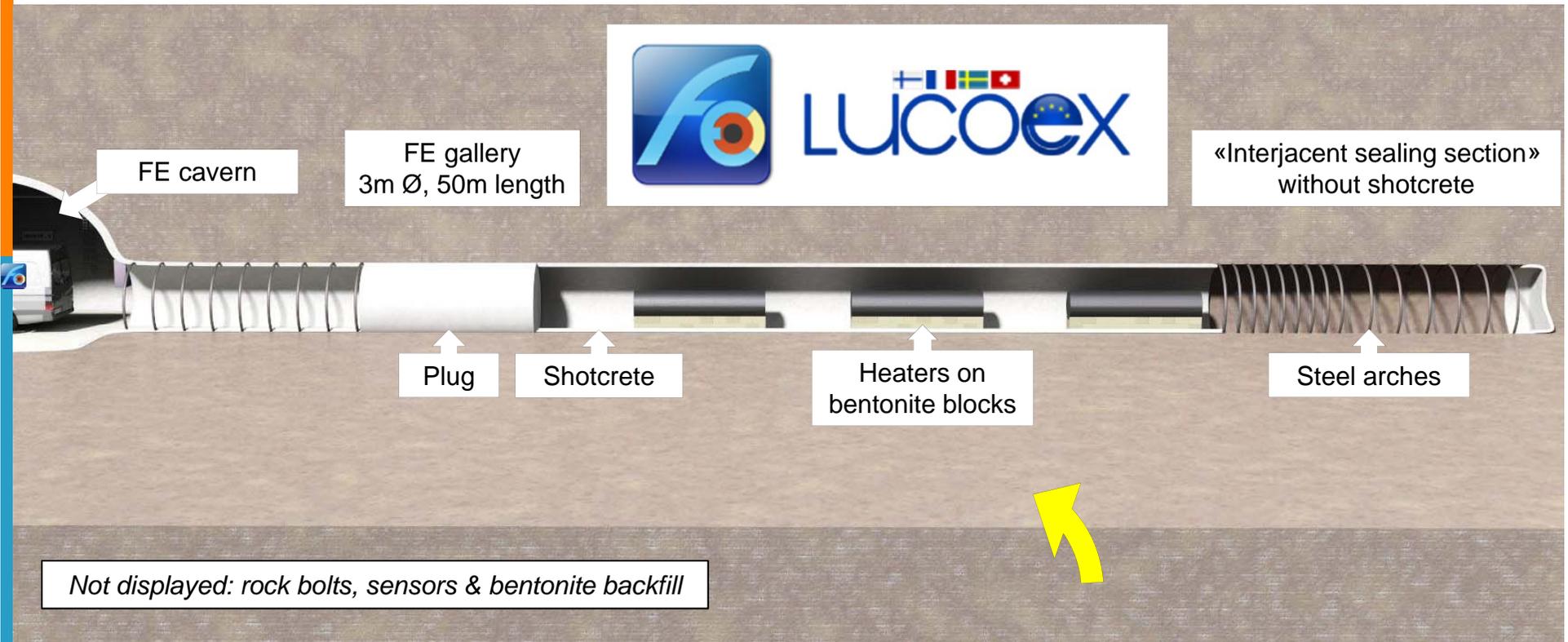
FE-Experiment Mont Terri (als Beispiel)

Full-scale Emplacement Experiment (FE-Experiment)

Ziele

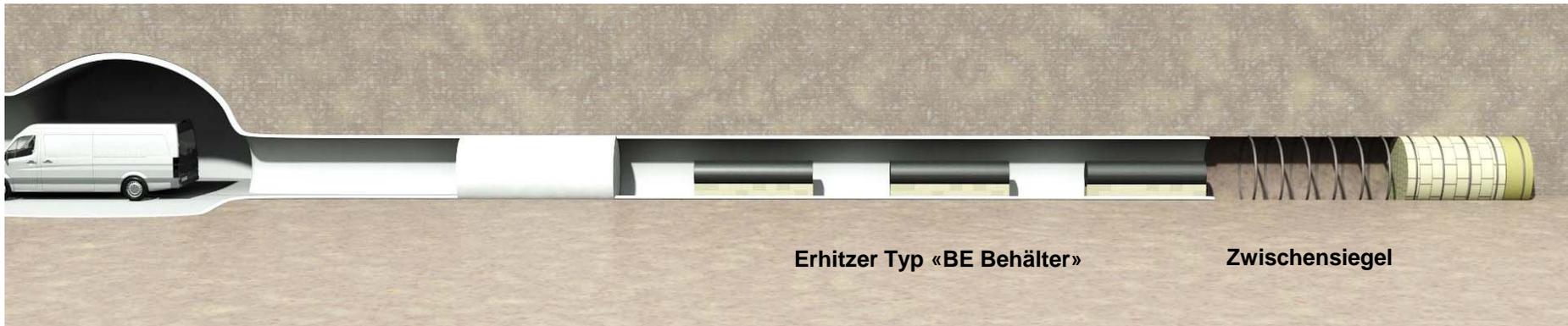
- Überprüfung der Auswirkung von BE-Lagerstollen auf umgebende Geologie
 - Bau Stollen (Auflockerung, Konvergenzen)
 - Entsättigung/Wiederaufsättigung umgebende Geologie
 - Aufsättigung & Entwicklung Quelldruck Bentonit
 - Temperatúrausbreitung, Einfluss auf Umgebung (Wärmeentwicklung BE)
- Erweiterung der Erfahrung bei Bau Lagerstollen, Einlagerung & Verfüllung / Versiegelung
- Erweiterung der Erfahrung bei Monitoring (Überwachung anhand Pilotlager)

FE-Experiment: Auslegung



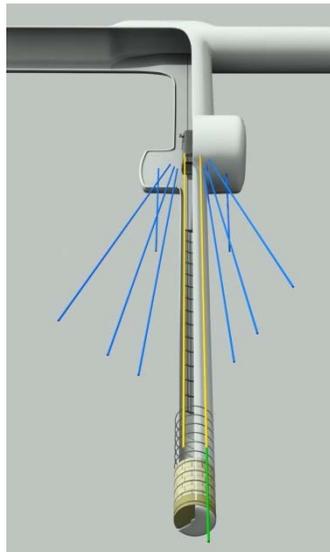
Konzept Lagerstollen

FE-Experiment: Arbeitspakete

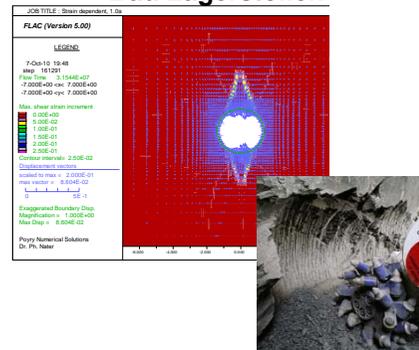


Bau Startnische

Fernfeld
Instrumentierung



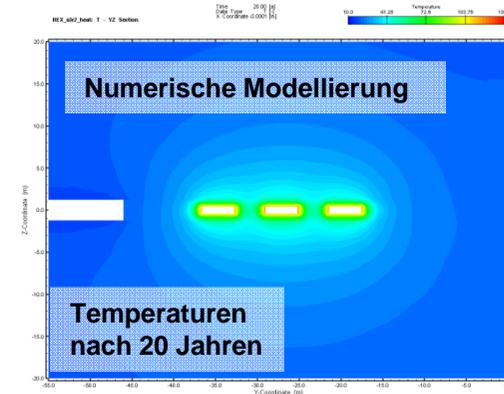
Bau Lagerstollen



... praktische Erfahrung



Einlagerung und Verfüllung



breite Teilnahme (→ gute Vernetzung)

- European Union
 - **FE Experiment** is Nagra's participation in the EURATOM (7th framework programme) project **Large Underground Concept Experiments (LUCOEX)**



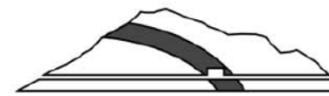
- Partner organisations within LUCOEX:

- ANDRA (France)
- POSIVA (Finnland)
- SKB (Schweden)



- The experimental partners within the FE @ Mont Terri:

- ANDRA (France)
- BGR (Germany)
- DOE (U.S.A.)
- GRS (Germany)
- NWMO (Canada)



Mont Terri Project

Verfüllmaschine in FE Tunnel



Tightly
compacted
GBM
in screw
conveyor



BFM in the
approx. 3m
diameter
FE tunnel

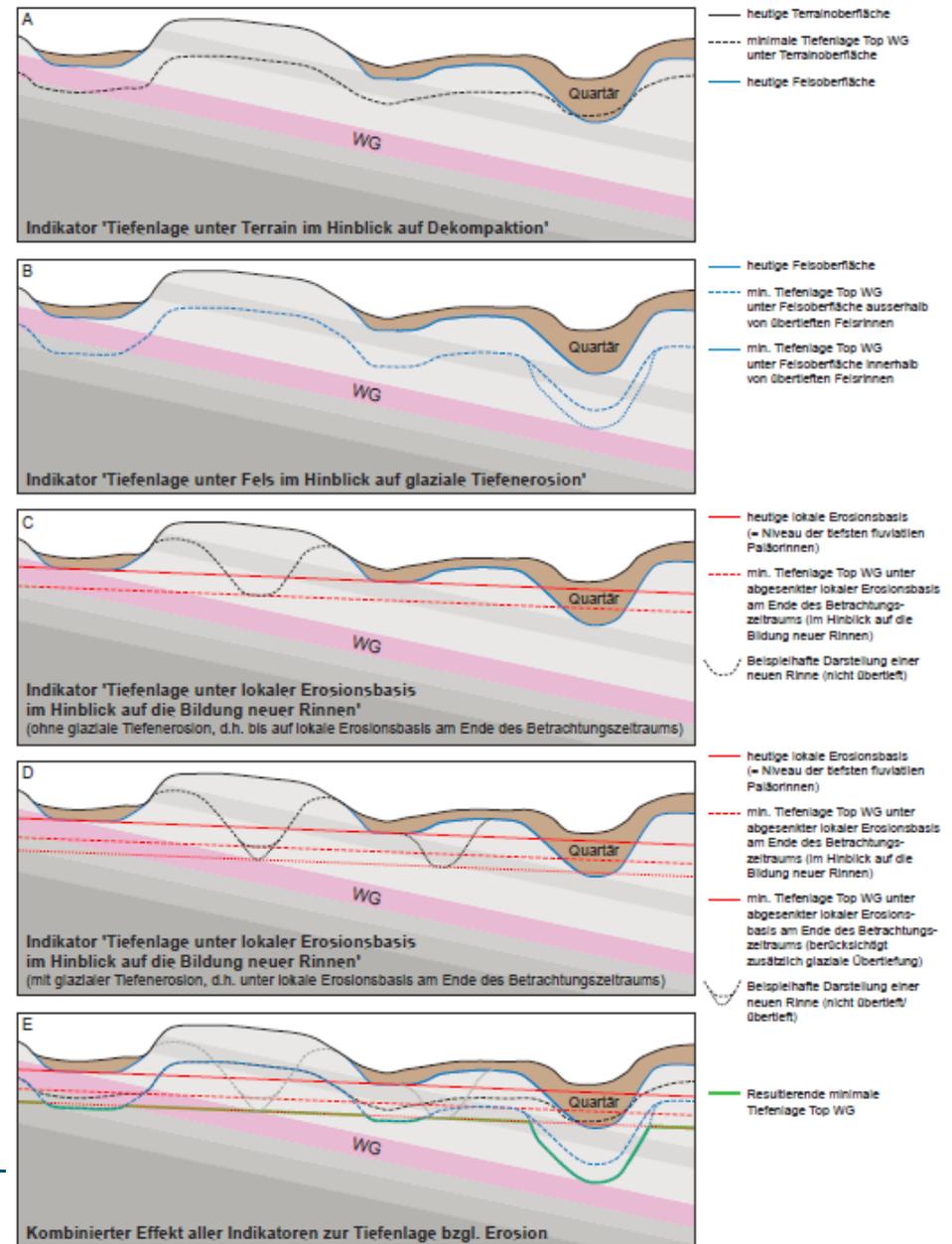
Forschung & Entwicklung: Themen → Forschung (2)

... im Gange bzw. in Vorbereitung (vorläufig): ein paar Beispiele

- geologische Barriere: Langzeitentwicklung
 - Neotektonik (Seismizität, Bewegungen)
 - Erosion (verschiedene Prozesse)
- geologische Barriere: Barrierenwirkung
 - weiterführende vertiefende Standortuntersuchungen (Geometrie, Strukturen, Eigenschaften, Zustandsparameter, ...)
 - ergänzende Laborversuche
 - (Langzeit)Versuche in Felslabor
- geologische Barriere: lagerbedingte Einflüsse (SMA/LMA vs. HAA)
 - Auslegung & Massnahmen zur Begrenzung ungünstiger Einflüsse (Wärmelast, Gasbildung, Gasabbau, Begrenzung Tiefenlage, ...)
 - Gebirgsverhalten: Ausbruch → Einfluss auf umgebendes Gebirge (Auflockerung), vgl. auch FE-Experiment
 - Gasbildung/-freisetzung (vgl. radioaktive Stoffe, Verfüllung/Versiegelung)

Erosion: relevante Prozesse

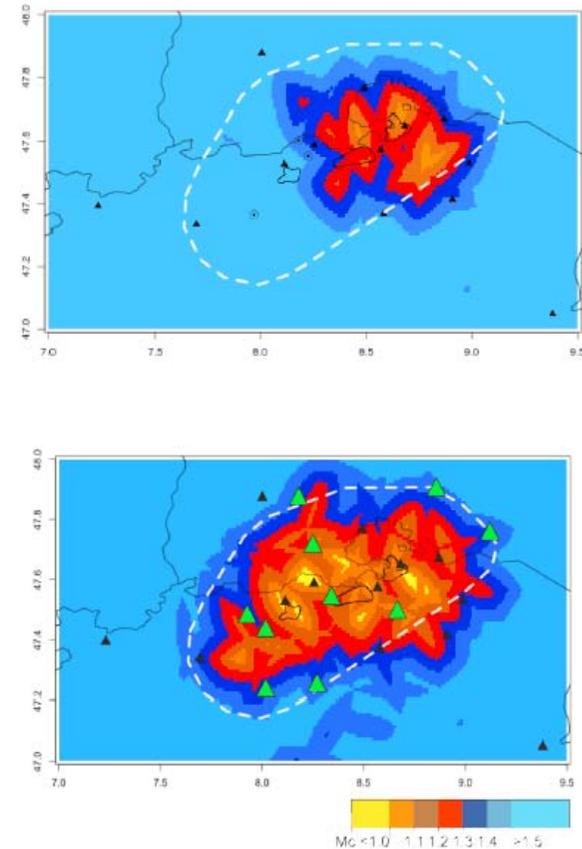
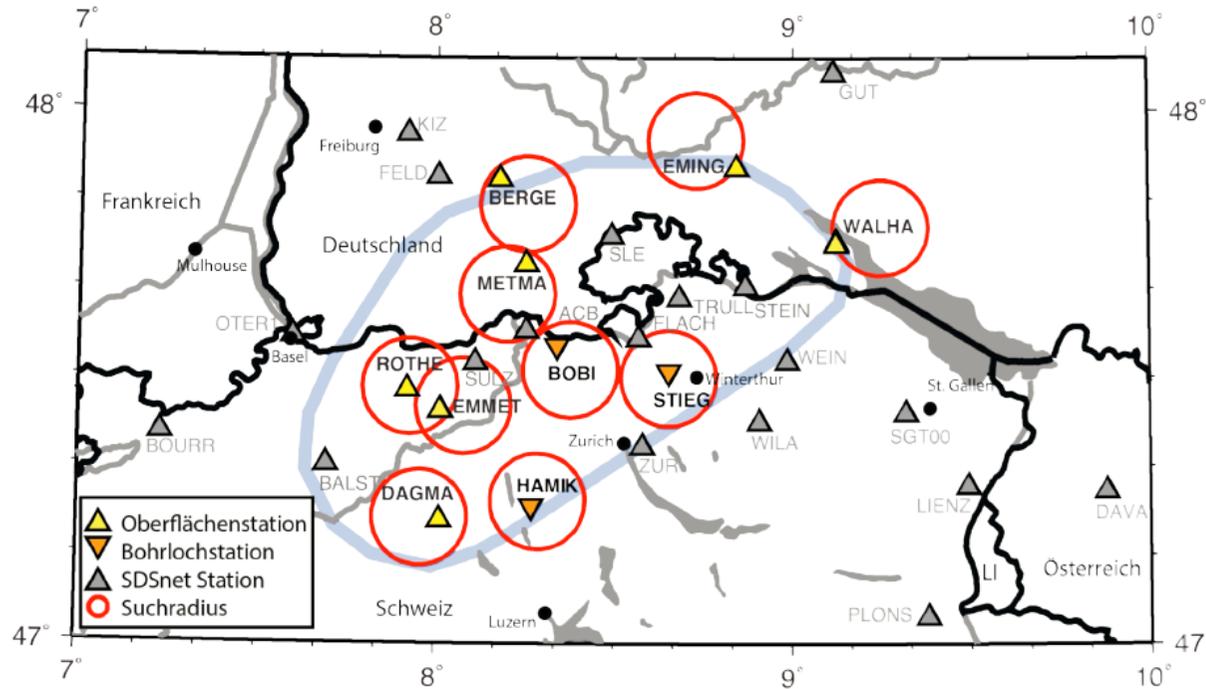
- Überdeckung & Erosion
- glaziale Übertiefung bestehender Felsrinnen
- Bildung neuer Durchbruchsrinnen (Flussumlenkung bei Vergletscherung)
- Übertiefung neuer Durchbruchsrinnen
- P.S.: Bedeutung zukünftiger Vergletscherungen (für Spektrum möglicher Klimaentwicklungen)



Ergänzttes Schwachbebennetz (SED)

Seismizität: **Langzeitbeobachtungen** von Schwachbeben (Netz ergänzt) im Grossraum für HAA-Lager

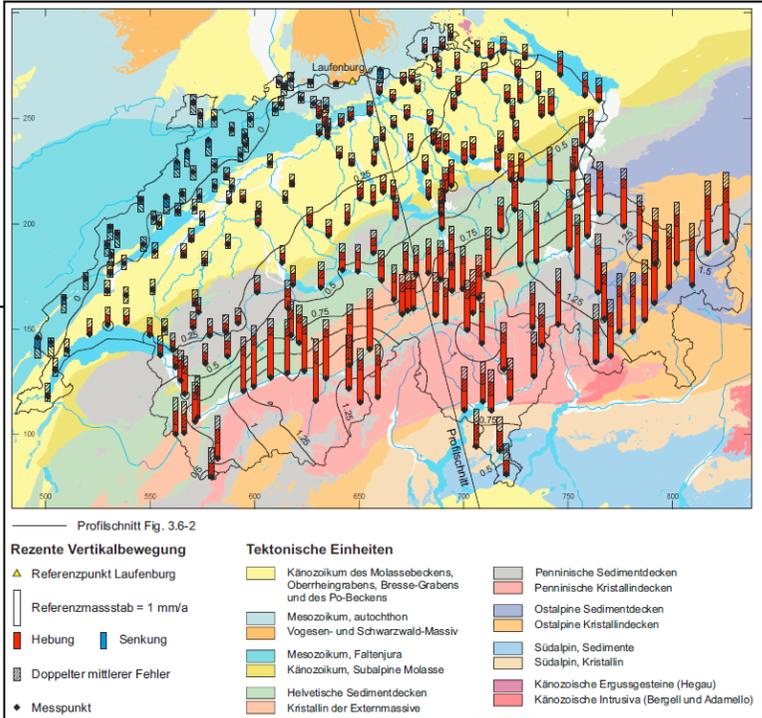
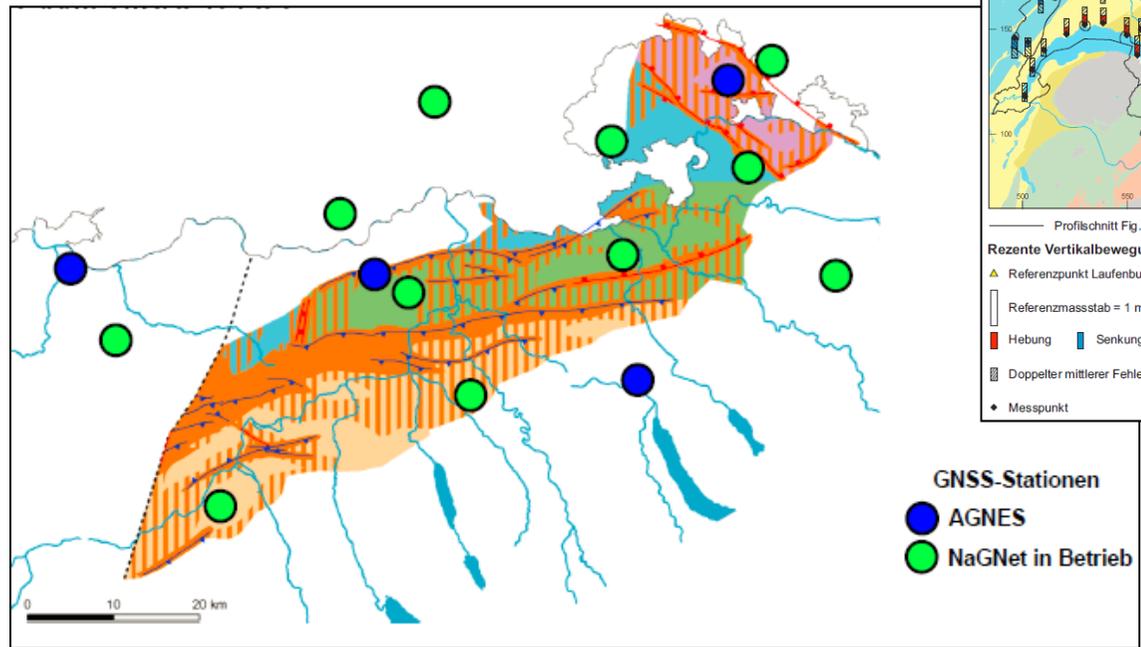
Ziel: verbesserte Erfassung schwächster Beben (Fig. oben vs. unten)



Bewegungen: Geodäsie

langfristige Messreihen (periodische Nivellements, GNSS-Stationen) als Ergänzung zu Datierungen zur Landschaftsentwicklung

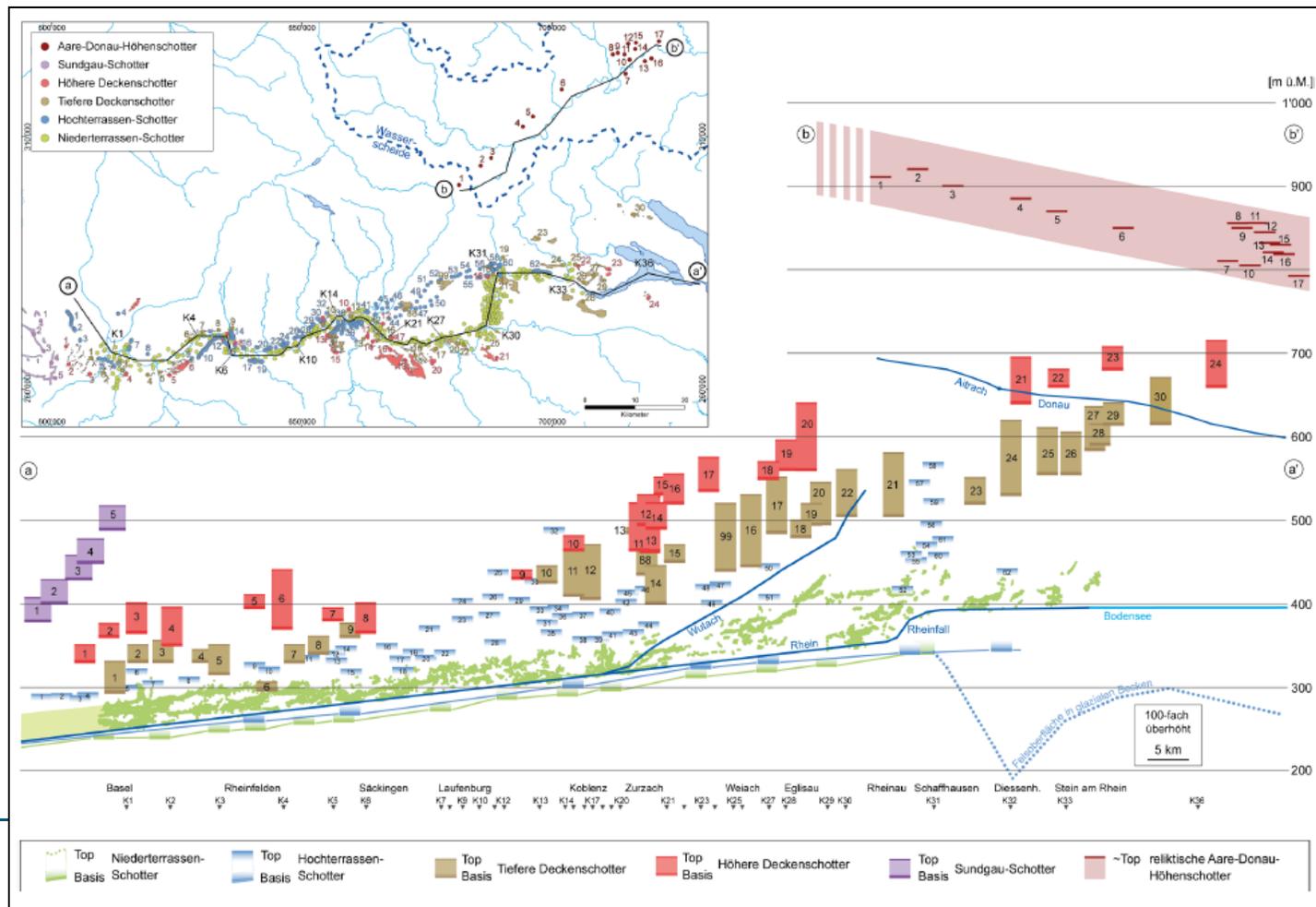
permanente GNSS-Stationen



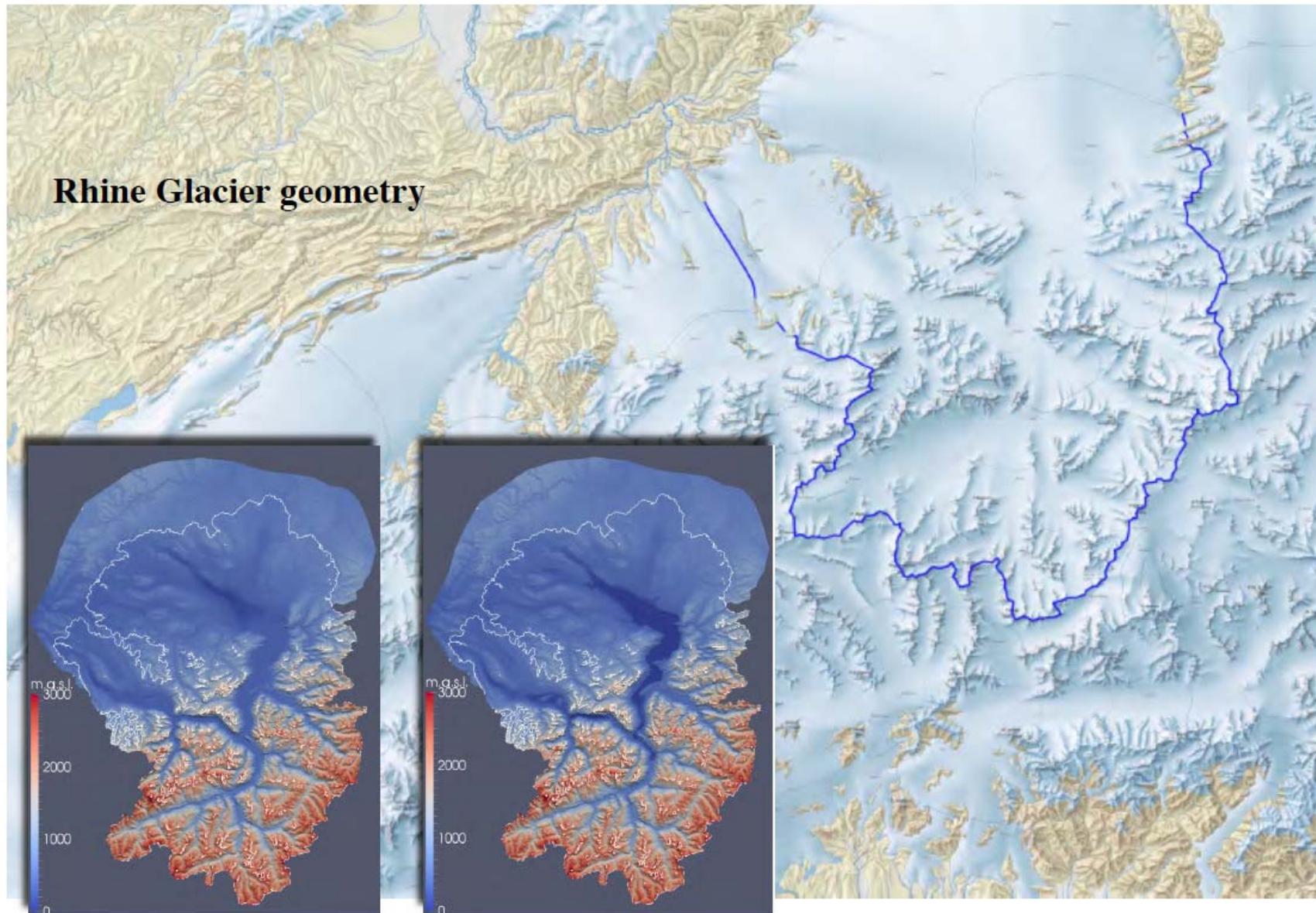
periodische Nivellements

Durchbruchsrinnen, glaziale Übertiefung

Analyse der Vergangenheit → Hinweis für die Zukunft bzgl. Entwicklung Erosionsbasis
(Datierung Deckenschotter & Sedimente Talfüllungen)



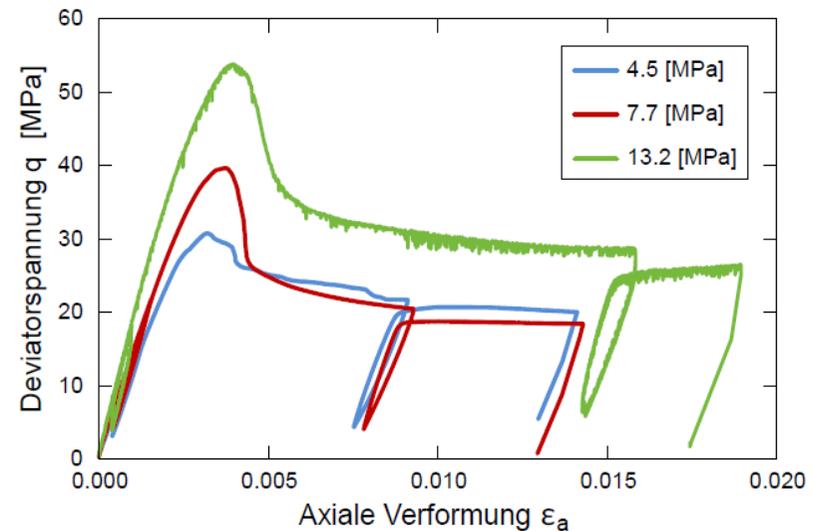
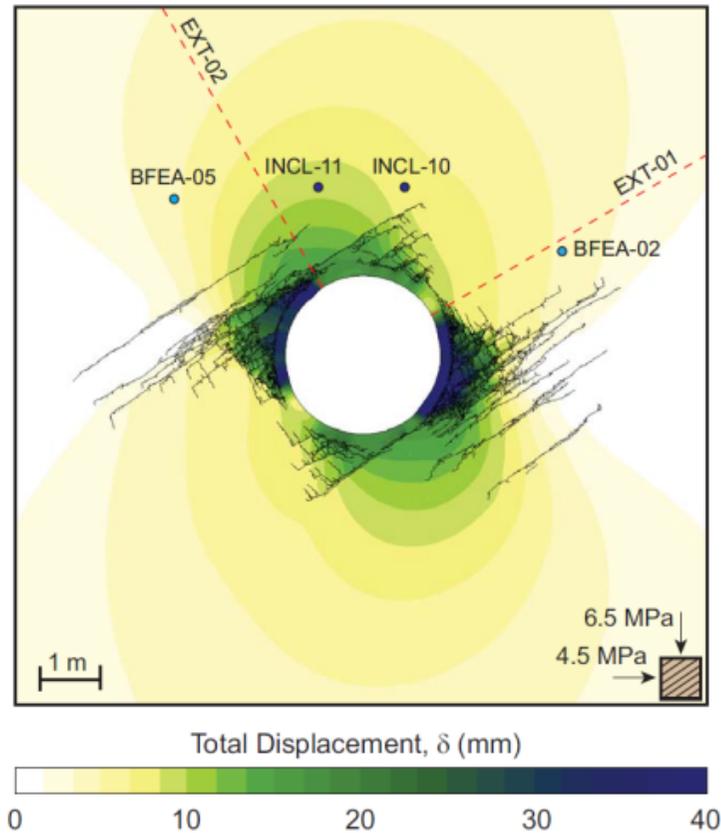
glaziale Tiefenerosion: Eisflussmodellierungen



Denis Cohen on behalf of Nagra

Gebirgsverhalten Opalinuston

Erweiterung & Verbesserung der experimentellen Daten, inkl. Modellierung Gesamtsystem (inkl. Erfassung Einfluss auf Störung / Schädigung des umgebenden Wirtgesteins)



Forschung & Entwicklung: Themen → Forschung (3)

... im Gange bzw. in Vorbereitung (vorläufig): ein paar Beispiele

- Bau, Betrieb und Verschluss des geologischen Tiefenlagers
 - Weiterentwicklung Auslegung (inkl. Prüfung Umgang mit lagerbedingten Einflüssen)
 - Prüfung von Alternativen
- Methoden zur Beurteilung & Bewertung der Sicherheit
 - Freisetzung & Transport: Konzepte & Parameter
(P.S.: Kenntnisse zur geochemischen Immobilisierung haben hohe Reife erreicht)
 - Umgang mit Ungewissheiten: Identifikation & Beschreibung der Ungewissheiten (Input Experten, Erfassung & Bewertung der Bedeutung der Ungewissheiten, ...)
 - Umsetzung der Erkenntnisse in die Entscheidungsfindung: Standortwahl, Anlage in den Grundzügen, ...

*zum Schluss:
ein paar Bemerkungen*

zu beachten ...

... **die Ziele** (für 'stepwise approach' → viele Entscheidungspunkte)

Klarheit bzgl. Zielsetzung der Forschung, mit Änderung der Prioritäten bzw. der **Ausprägung** der Arbeit mit Fortschritt des Programms

- Forschung zur Unterstützung der **Standortwahl**
- Forschung zur Unterstützung der **Lagerauslegung** (Konzepte → Ausführung), teilweise abhängig von Standorten
- Forschung zur Untermauerung der **Aussagen zur Sicherheit**, teilweise abhängig von Standorten und Lagerauslegung

zu beachten ...

... und die Umsetzung der Forschung: die Bedeutung der Personen

- Personen mit hoher Fach-, Synthese- und Sozialkompetenz
- Bedeutung der guten Vernetzung der Mitarbeiter
 - das persönliche Netzwerk (direkter Kontakt)
 - Interaktion mit Fachwelt: Fachwelt ausserhalb Entsorgung, innerhalb Entsorgung (inkl. Hintergrund zu RD+D)
 - ... und die Felslabors als sehr wertvolle Plattform (Entsorgung, Andere) und: weiterer Nutzen einer persönlichen Vernetzung, z.B.:
 - Hintergründe kennen (vollständige Information, Schwierigkeiten,)
 - Hinweise zum *'wissen wer'*
 -
- die Bedeutung der Sprache der Berichte (nationales Bedürfnis, Einbezug der internationalen Fachwelt)
- ... und viele weitere Punkte (nicht nur bzgl. Personen) ...

Das schweizerische Programm

Zusammenfassung & Schlussfolgerungen

- Programm zur Vorbereitung der geologischen Tiefenlager **seit vielen Jahren im Gang** (> 35 Jahre; Ausgaben > 1 Mia. CHF)
- Programm gekennzeichnet durch **viele Meilensteine & Entscheidungspunkte** mit **behördlichen Reviews & Rückmeldung** ('stepwise approach')
- Programm sowie zugehörige Forschung & Entwicklung **berücksichtigt laufend die neuen Erkenntnisse** (bei Bedarf: Umorientierung)
- nach langer Phase der Vorbereitung (*wissen wie*), seit 2008 orientiert auf Umsetzung (*wissen wo*)
- erforderliche **Unterlagen, Organisationen und Festlegungen** (z.B. Gesetze, ENSI-Richtlinien, Sachplan-Verfahren) sind dazu vorhanden
Dies umfasst auch **entsprechende Forschungseinrichtungen** (Team, Labors, Felslabors, Feldarbeiten, ...)
- Der **sicherheitsgerichtete Einengungsprozess** bei der Standortwahl ist **zentral für die sichere Entsorgung** (*der Standort macht es aus*)



**besten dank
für ihre aufmerksamkei
nagra.**